

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»

Профиль подготовки: «Технологические машины и оборудования на нефтегазовом промысле»

Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Определение напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального 10000м ³ после монтажа с дефектами

УДК 621.642.3-025.71-034.14:624.042.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Бычков Антон Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф. - м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М. С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Манабаев К.К.	Доцент, к.ф. - м.н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-2, ОПК-6,
в области производственно-технологической деятельности		
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов	УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11

	нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15
в области экспериментально-исследовательской деятельности		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16, ПК-17, ПК-18), (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d).
в области проектной деятельности		
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов, проводить экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность	УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22
в области организационно-управленческой деятельности		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26).

в области проектной деятельности		
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК- 29, ПК-30, (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е).
Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания технологического оборудования	ОПК-5, ОПК-6, ПК-3, ПК-7, ПК-9, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-21, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия с целью повышения надежности, долговечности и эффективности работы технологического оборудования	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-10, ПК-12, ПК-17, ПК-21, ПК-23, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных

		«станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-9 ПК-10, ПК-17, ПК-30 требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа Природных ресурсов

Отделение Нефтегазового дела

Направление подготовки Нефтегазовое дело

Профиль подготовки Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

Уровень образования магистратура

Период выполнения (осенний/весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.05.2019	Основная часть	55
13.05.2019	Раздел, выполненный на иностранном языке	5
14.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
15.05.2019	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К	к.ф.- м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»

Профиль подготовки: «Технологические машины и оборудования на нефтегазовом промысле»

Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Бычкову Антону Андреевичу

Тема работы:

Определение напряженно-деформированного состояния резервуара вертикального стального 10000м ³ после монтажа с дефектами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	852/с 04.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объект исследования: Резервуар вертикальный стальной 10000м³. Объект относится к технологическому сооружению повышенной опасности, требующему особых условий эксплуатации. Режим работы: круглосуточный, периодический</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Аналитический обзор литературных источников с целью выявления современных методов решения поставленной задачи 2. Изучение имеющейся проблемы 3. Анализ напряженно – деформированного состояния резервуара вертикального стального 10000 м³ 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Романюк В.Б., к.э.н</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина М. С., ассистент</p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p></p>	
<p></p>	
<p></p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p></p>
--	---------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Бычков Антон Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Бычкову Антону Андреевичу

Инженерная школа природных ресурсов		Отделение нефтегазового дела	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль « <u>Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов</u> »

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску, включая стоимость интернета – 360 руб. в месяц.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Устанавливаются в соответствии с заданным уровнем нормы оплат труда: 30 % премии к заработной плате 20 % надбавки за профессиональное мастерство 1,3 - районный коэффициент для расчета заработной платы.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений, в том числе отчисления во внебюджетные фонды - 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 1. Структура работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ.

	<p>3. Разработка графика проведения научного исследования.</p> <p>4. Бюджет научно-технического исследования.</p> <p>5. Основная заработная плата исполнительной темы.</p> <p>6. Дополнительная заработная плата исполнительной темы.</p> <p>7. Отчисление во внебюджетные фонды.</p> <p>8. Накладные ресурсы.</p> <p>9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.</p>
3. Ресурсоэффективность	<p>1. Определение интегрального показателя эффективности научного исследования.</p> <p>2. Расчет показателей ресурсоэффективности.</p>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<p>1. Оценка конкурентоспособности технических решений.</p> <p>2. Матрица SWOT.</p> <p>3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.</p> <p>4. Альтернативы проведения НИ.</p> <p>5. График проведения и бюджет НИ.</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Бычков Антон Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Бычкову Антону Андреевичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое оборудование»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места</i></p>	<p>Объектом исследования является Резервуар вертикальный стальной 10000 м³. Рабочей зоной является резервуарный парк. Расчет резервуара вертикального стального 10000 м³. Область применения нефтегазовая отрасль.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Физико-химическая природа вредных веществ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны <p>Действие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышение кровяного давления; – ухудшение внимательности и памяти; – снижение остроты зрения и слуха; – замедление скорости реакции; – быстрое утомление. <p>Средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – виброгасители; – звукопоглощающие средства. <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – спецодежда и спецобувь; – защитные очки и каска;
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Источник опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – оборудование и трубопроводы, работающие под давлением; – пожаровзрывобезопасность на рабочем месте. <p>Средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – своевременные проверки и ремонт. <p>Причины проявления опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – несоблюдение правил безопасности при изготовлении РВС; – внешние механические воздействия; – старение системы. – нарушение технологического режима; – конструкторские ошибки; – ошибки обслуживающего персонала
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 	<p>Воздействие на атмосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – выбросы при опорожнении и заполнении резервуаров – образование и размещение отходов, образующихся при технологической эксплуатации <p>Воздействие на литосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вылив и утечки горюче-смазочных материалов – захламление территории строительными материалами, отходами и мусором, загрязнение токсичными веществами <p>Воздействие на гидросферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проникновения вредных веществ в грунтовые воды
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Наиболее типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар резервуарного парка. <p>ЧС может случиться из-за:</p> <ul style="list-style-type: none"> – высокой пожаровзрывоопасности хранимых продуктов; – статическое или атмосферное электричество; – нарушение герметичности элементов конструкции: фланцев, задвижек; <p>В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс РФ: – ст. 92 ТК РФ, – ст. 117 ТК РФ, – ст. 147 ТК РФ. – правила безопасности в газовом хозяйстве; – ПБ 12-529-83
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Черемискина М. С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Бычков Антон Андреевич		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 139с., 30рис., 27 табл., 51 источников, 33 формулы.

Ключевые слова: резервуар, рвс, резервуарный парк, анализ напряженно – деформированного состояния.

Объектом исследования является: анализ напряженно – деформированного состояния резервуара вертикального стального 10000 м³, типа РВС.

Цель работы – проведение расчетов напряженно – деформированного состояния и прочности конструкции резервуара, реализованных путем применения программного комплекса методов конечных элементов ANSYS и их сравнение с аналитическим расчетом.

Область применения: нефтегазовая промышленность.

Содержание

Введение	16
1 Обзор литературы.....	20
2 Виды, производство, монтаж и эксплуатация РВС	25
2.1 Производство резервуаров	25
2.2 Виды резервуаров.....	26
2.3 Монтаж РВС	31
2.4 Эксплуатация РВС	35
3. Анализ аварийных ситуаций, вызванных неравномерными осадками	38
4. Характеристика территории объекта исследования	41
5. Характеристика резервуара – 10000 м ³	45
6. Наземное лазерное сканирование резервуара	46
7. Аналитический расчёт резервуара.....	51
7.1. Вертикальные цилиндрические резервуары.....	51
7.2. Выбор материала	51
7.3. Назначение размеров резервуара.....	52
7.4. Расчёт стенки резервуара	53
7.5 Расчёт днища.....	55
8. Расчёт НДС резервуара с использованием программы ANSYS.	59
8.1. Создание конечно-элементной модели	62
8.2. Задание граничных условий и контактных пар	64
8.3. Нагрузки и воздействия	65
8.4 Результаты численного эксперимента	68
9 Социальная ответственность.....	74
9.1.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	74

9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	79
9.2 Профессиональная социальная безопасность	79
9.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	80
9.2.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	83
9.3 Экологическая безопасность.....	86
9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
9.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	88
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	93
10.1. Потенциальные потребители результатов исследования	93
10.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	94
10.3 SWOT – анализ	96
10.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	99
10.5 Определение ресурсоэффективности проекта	114
Заключение.....	118
Список литературы	119
Приложение 1	125

Введение

Одними из наиболее опасных объектов были и остаются различные виды резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Причины этого заключаются в:

- хранении легковоспламеняемых продуктов
- из-за внушительных размеров конструкций влечет за собой большие протяженности сварных швов, которых трудно проконтролировать по всей длине,
- осадка оснований, а так же отклонение стенок от вертикали.
- движение стенок в зонах геометрических искажений формы
- коррозионный износ
- превышение допустимого объема заполнения резервуара
- нарушение правил эксплуатации РВС

Последствия аварии резервуаров носят катастрофический характер приводя к уничтожению объектов и тяжелыми экологическими последствиями. Рассмотрим некоторые случаи последствий аварий резервуаров: загрязнение нефтепродуктами почвы и водных объектов, разрушение самого аварийного резервуара, а так же близко расположенных зданий и сооружений, загрязнение атмосферы продуктами горения. Согласно статистике ущерб от аварии резервуаров в 500 раз больше затрат на сооружение резервуара.

Для повышения эффективности эксплуатации вертикальных стальных резервуаров необходимо своевременно определять техническое состояние резервуаров. Для того чтобы точно определить техническое состояние, необходимо измерить фактические геометрические параметры резервуара. На основании этого контроля, своевременно, разрабатывают и проводят инженерно-технические мероприятия по предупреждению и устранению опасных для конструкций деформаций. Напряженно-деформированное состояние является одним из главным показателем технического состояния.

С помощью программного комплекса работающего на основе метода конечных элементов (МКЭ), была разработана модель резервуара РВС-10000 с учетом ее действительного пространственного положения и реальной геометрической формы, а так же контактных взаимодействий элементов, граничных условий и нагрузок, влияющих на точность расчета напряженно-деформированного состояния.

В данной работе **объектом исследования** является – вертикальный стальной резервуар, находящийся в эксплуатации.

Целью работы является определение геометрических параметров существующего резервуара вертикального стального (РВС) и их анализ.

Методы исследования. Задачи, поставленные в магистерской диссертации, решаются при помощи метода конечных элементов и наземного лазерного сканирования.

Основные задачи исследования:

1. Проанализировать литературу, используемую при расчете НДС состояния резервуаров;
2. Изучить район расположения РВС-10000;
3. Разработка 3D модели РВС-10000 по результатам трехмерного наземного лазерного сканирования с учетом реальной геометрической формы в SolidWorks;
4. Рассчитать НДС резервуара с использованием программы ANSYS;
5. Оценить напряженно-деформированное состояние стенок резервуара под действием эксплуатационных нагрузок с учетом реальной геометрической формы.

В связи с поставленными задачами в дипломном проекте освещены следующие вопросы:

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования.

В первом разделе проведен обзор литературных источников. Обзор отечественной и зарубежной нормативной базы осадок резервуара. Приведена классификация типов осадков РВС на основе многолетних наблюдений и диагностических обследований объектов, построенных на участках с различными геологическими и гидрогеологическими условиями. Проанализированы критерии оценки напряженно-деформированного состояния вертикальных стальных резервуаров и требования нормативно-технической документации к техническому состоянию оснований при осадках.

Во втором разделе рассмотрены основные виды вертикальных стальных резервуаров. Рассмотрена классификация резервуаров, проведён анализ эксплуатации РВС

В третьем разделе приведен анализ аварийных ситуаций на предприятиях нефтепереработки и причины способные привести к возникновению чрезвычайной ситуации.

В четвертом разделе представлена краткая характеристика территории объекта исследования.

В пятом разделе представлены характеристики исследуемого резервуара

В шестом разделе проведены геодезические измерения фактического состояния резервуаров, с помощью лазерного сканирования.

В седьмом разделе был произведен расчет резервуара. Рассчитаны следующие величины: толщина листов стенки резервуара, проведен расчет днища и крыши. Так же определено кольцевое усилие и возникающее в нем напряжение

В восьмом разделе приводится расчет НДС вертикального стального резервуара с помощью МКЭ. Выполнен численный эксперимент по моделированию резервуара реальной геометрической формы; также с использованием МКЭ получены значения деформаций и напряжений в металлоконструкциях для всех возможных значений отклонений от вертикали РВС-10000.

В девятом разделе освещена социальная ответственность. Представлено возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и

условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

В десятом разделе рассчитана ресурсоэффективность вертикального стального резервуара.

1. Обзор литературы

Вертикальные стальные резервуары в процессе эксплуатации подвергаются множеству внешних и внутренних влияний: избыточному давлению, температурным деформациям, неравномерной осадке основания, вакууму, действующей гидростатической нагрузке, ветровому и снеговому воздействиям, и другим. Все элементы конструкции резервуара под воздействием данных нагрузок находятся в сложном напряженно-деформированном состоянии.

В настоящий момент уделяется большое внимание к вертикальным стальным резервуарам, исчерпавших свой ресурс, с целью продления эксплуатации. Для достижения необходимой надежности и безопасности, необходимо проводить теоретические и экспериментальные исследования устойчивости и прочности, так же необходимо разрабатывать новые методики, позволяющие определить реальное напряженно-деформированное состояние резервуаров.

Теоретическим и методическим вопросам напряженно-деформированного состояния резервуаров посвящены работы многих ученых и специалистов: Хоперского Г.Г. [15], Катанова А.А. [27], Слепнева И.В. [18], Сметанникова О.Ю. [24, 25, 26], Березина В.Л. [4, 5, 6, 7], Арзуняна А.С. [1], Евдокимова В.В. [26], Шутова В.Е. [7, 10], Тарасенко А.А. и Чепура П.В. [19, 20, 21, 22, 23], Ашкинази М.И. [2, 3], Буренина В.А. [9], Любушкина В.В. [16], Бородавкина П.П. [8], Лебедева В.Д. [13, 14], Сафаряна М.К. [10, 12, 13], Галеева В.Б. [16, 17], Головачева А.А. [24, 25], и других.

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния узла сопряжения стенки с днищем отражены в трудах ученых: Шутова В.Е. [7], Стулова Т.Т. [29], Сафаряна М.К. [28, 12, 13], Ашкинази М.И. [3], Березина Л.В. [7], и других.

В работах [24, 25, 26, 27, 21] авторы исследовали напряженно-деформированное состояние отдельных дефектов резервуаров и окрайки днища. Евдокимов В.В., Труфанов Н.А., Сметанников О.Ю. [26] разработали инженерную методику расчета предельно допустимых вмятин на поверхности стенки.

Исследование методики выполнялась по средствам сравнения результатов расчета и был реализован в программном комплексе ANSYS.

Большинство из вышеперечисленных исследований выполнялись на начальном этапе становления расчета НДС резервуаров. Для упрощения математической модели принимались некоторые допущения, чаще всего принималось однородность грунтового основания, это позволяло нам считать НДС резервуара осесимметричным.

Стулов Т.Т. [29] одним из первых предпринял попытку учета неравномерной осадки основания при оценке НДС резервуара. Для описания НДС резервуара, Стулов Т.Т. ввел большое количество упрощений, и поэтому расчетные результаты сильно расходились с экспериментальными.

Ямамото С., Ковано К. . [30], Кршупка В. [31] так же рассматривали оценку напряженно-деформированного состояния резервуаров при неравномерных осадках в Японии и на Западе, это и было главным недостатком этих работ. Рассматриваемые конструкции резервуаров в работе [30] не используется в Российской Федерации и странах СНГ.

Работа чешского инженера В. Крупке [32], расчет деформаций в верхней части корпуса резервуара при неравномерном осадке частного характера (симметрия относительно некоторых значений $\beta=0$) или при подъеме резервуара в нескольких точках. Полученные им результаты носят частный характер и не могут быть использованы для оценки прочности резервуаров в общем случае. [15]

В работах Буренина В.А. [9], Слепнева И.В. [18], Галеева В.Б. [16, 17], Любушкина В.В. [16], Бородавкина П.П. [8] было рассмотрено НДС днища вертикального резервуара при неравномерной осадке основания. Ученые получили зависимость, которая позволило определить максимально допустимое напряжение в днище резервуара в зависимости от осадки основания.

Работы Тарасенко А.А. [34, 35], Слепнева И.В. [36], Галеева В.Б. [33], Хоперского Г.Г. [15], Чепура П.В. [37] для нас представляют особый интерес, т.к. в работах представлены современные исследования, посвящённые оценке

влияния неравномерной осадки по периметру днища на напряженно-деформированное состояние стенок резервуара.

Галеев В. Б в [38] поднимает вопрос о влиянии осадки РВС на его напряженно-деформированное состояние и предлагает метод разложения осадок на компоненты в виде тригонометрических рядов различных порядков (равномерный - нулевой порядок, крен - первый порядок, неравномерный - второй и более высокие порядки). Были также рассмотрены различные варианты прогнозирования осадки резервуара. Для моделирования неравномерности осадки автор прикладывает к уторному узлу силы, которые деформируют резервуар до требуемого состояния (состояние в условиях неравномерности осадков). Такое моделирование неоднородных осадки является спорным, поскольку условия работы резервуара не соответствуют реальным условиям. Также разработанный автором метод не учитывает фактическую геометрическую форму поверхности резервуара.

В российской науке Слепнев И. В. [18] был одним из первых, применивших метод конечных элементов (МКЭ) к рассмотрению НДС резервуаров. Автор затрагивает вопрос о характере и описании неравномерных осадков, а также дает новый взгляд на его рассмотрение как суммы трех составляющих равномерных осадков, крена и неравномерных осадков. Слепнев И. В. предлагает использовать метод конечных элементов для оценки НДС резервуара при неравномерных осадках. Однако данная методика неприменима для определения напряженно-деформированного состояния резервуаров с учетом их пространственного положения, и существует ряд причин этого: во-первых, разработанная автором методика предусматривает упруго-податливое крепление верхней кромки, что не соответствует реальным условиям ее работы; во-вторых, в работах Г. Г. Хоперского и А. Тарасенко [15, 39] отмечено, что автором допущены неточности в решении уравнений, описывающих неравномерный осадок; в-третьих, моделирование неравномерных осадков рассматривается как вариант свободного провисания участка стены, который не соответствует реальным условиям.

Исследования Тарасенко А.А. [34, 35] посвящены разработке научно обоснованных рекомендаций по подъему резервуаров в процессе их ремонта. По сути, подъем резервуара является «экстремальным» случаем моделирования изменения пространственного положения РВС при неравномерной осадке по контуру днища. Именно поэтому данные исследования для нас интересны. В процессе исследования автор экспериментальным путем исследовал НДС РВС в процессе его подъема, после результаты эксперименты были сравнены с теоретическими исследованиями НДС при подъеме резервуара. В итоге было выявлено, что несовершенство геометрической формы стенок резервуара, оказывают существенное влияние на НДС РВС.

Данная методика исследования НДС РВС при подъеме недостаточно точна для расчета напряженно-деформированного состояния под действием эксплуатационных нагрузок с учетом определения их действительного пространственного положения по нескольким причинам: во-первых данная методика исследования НДС РВС имеет внушительные размеры и потребует значительных трудоемких и материальных затрат на ее реализацию; во-вторых, при рассмотрении воздействия одного подъемного устройства на используем НДС РВС расчеты проводились по упрощенным уравнениям оболочек слабо изменяющейся кривизны. В работе [35] предпринята попытка определить НДС резервуара на основе метода конечных элементов с использованием программных систем, его реализующих. Автором выполнена детальная работа по проектированию резервуара и моделированию его элементов различными наиболее подходящими конечными элементами (КЭ), что позволило решить поставленную задачу. Однако разработанная модель не может быть использована для анализа НДС РВС с его неравномерным осадением, так как модель не учитывает неравномерность осадения и фактическую геометрическую форму поверхности стенки резервуара, более того, используемый КЭ не позволяет этого сделать.

В работе [15] автор оценивает напряженно-деформированное состояние вертикального стального резервуара и ее конструктивных элементов при

равномерной и неравномерной осадке РВС. Целью исследования равномерной осадки было определено влияние коэффициента постели грунтового слоя на напряженно деформированное состояние резервуара, которое, по результатам исследования, отсутствует. Основным недостатком в этой части работы является то, что автор рассматривает только один размер резервуара при наличии фундаментного кольца под его стенкой. Другие случаи не рассматриваются. В качестве модели резервуара с неравномерным осадком выбрана модель неосесимметричного деформирования замкнутой оболочки, описываемая упрощенной системой дифференциальных уравнений. В качестве метода решения системы дифференциальных уравнений предлагается использовать метод интегральных матриц. Разработанный автором метод не позволяет применять его для определения НДС резервуара под воздействием нагрузок возникших во время эксплуатации с учетом их фактического пространственного положения по нескольким причинам: предложенный способ определения НДС РВС при неравномерных осадках не учитывает фактическую геометрическую форму поверхности стенки РВС, по сути, рассматривается случай идеального цилиндра, деформированного в вертикальной плоскости; для задания граничных условий разработан отдельный метод определения неравномерных составляющих в осадке резервуара, основанный на предположении об идеальной окружности донного края и представлении неравномерного осадка в виде полилинии.

2 Виды, производство, монтаж и эксплуатация РВС

2.1 Производство резервуаров

Резервуары – это наземные строительные сооружения предназначенные для приема, накопления и выдачи темных и светлых нефтепродуктов и бензина. Первые нефтяные резервуары появились в России в 17 веке с увеличением добычи нефти в Баку, они представляли собой земляные ямы (резервуары) в глиняном грунте. В 1935 г. впервые в России был сооружен сварной металлический резервуар объемом 1000 м³. Емкость некоторых резервуаров, построенных в России, достигает 50000 м³, так же ведется работа по созданию резервуара 100000 м³.

Вертикальные резервуары могут производиться из малоуглеродистых, нержавеющей, низколегированных сталей. Технологии сборки: рулонированная, листовая или комбинированный метод. На завод по производству резервуарных конструкций следует выполнять в соответствии со стандартом на основе сертифицированной системы менеджмента качества продукции, что гарантирует соответствие требованиям ГОСТ Р серии ИСО 9000, рабочие детализованные чертежи КМД резервуаров, разработанных в соответствии с проектом КМ, а также утвержденных в установленном порядке процесса. Производство вертикальных стальных резервуаров (Рисунок 1) представляет собой сложный процесс, несмотря на то, что эта конструкция очень проста.



Рисунок 1 – Изготовление металлоконструкций

Материалы, полученные заводом-изготовителем, должны подлежать входному контролю на предмет их соответствия требованиям нормативной, конструкторской и отгрузочной документации. Металлические изделия должны быть маркированы, отсортированы, выложены по маркам стали и профилям. В дальнейшей обработке, необходимо, клеймом нанести на все детали резервуара номер плавки. Обработка листового металла должна осуществляться с использованием механизированной газовой резки, плазменной резки и другого оборудования, изготавливающего детали с размерами, предельными отклонениями и отделкой поверхности, указанными на чертежах. Края деталей после кислородной, механической или плазменной резки не должны иметь завалов, заусенцев и неровностей, не более 0,5 мм. Поскольку нефть является агрессивной средой, резервуары на стадии проектирования укрепляются припуском на коррозию, поэтому толщина конструктивных элементов будет толще. Изготовленные конструкции РВС должны быть маркированы заводом-изготовителем, содержащим обозначение монтажного элемента и заводской номер заказа. Маркировка наносится на ярлыки или крепежные элементы, прикрепленные к упаковке элементов одной марки.

При обнаружении дефекта на любом этапе дефектные конструкции ремонтируются или заменяются за счет завода-изготовителя. Транспортировка должна осуществляться в оригинальной упаковке в соответствии с утвержденными чертежами отгрузки.

2.2 Виды резервуаров

К основным видам резервуарных конструкций относятся:

Резервуары РВС без понтона со стационарной крышей

Резервуары РВСП с понтоном и со стационарной крышей

Резервуары РВСПК с плавающей крышей

Резервуары вертикальные стальные цилиндрические (рисунок 2) РВС (РВС) предназначены для приема, хранения, выдачи нефтепродуктов и воды, а также других жидкостей, в различных климатических условиях.



Рисунок 2 – Резервуар вертикальный стальной

Резервуары вертикальные стальные (РВС) являются обязательными элементами структуры любого нефтеперерабатывающего завода или химического производства. Стальные резервуары различаются материалами изготовления, способами размещения и назначением. По расположению выделяют подземные, надземные и наполовину подземные ёмкости. Выпускают резервуары с плоской, конической и сферической крышей. Вертикальные стальные резервуары производят с внутренним объёмом от 100 до 100000 м³, при необходимости их объединяют в “резервуарный парк”. Резервуарный парк – это группа резервуаров сосредоточенных в одном месте, (Рисунок 3) включающий в себя: резервуары, насосное оборудование, технологические трубопроводы, средства пожаротушения и другие узлы.



Рисунок 3 – Резервуарный парк

К основным несущим конструкциям РВС относятся: крайка днища, стенка, включая все врезки патрубков и люков, каркас и опорное кольцо каркасной крыши, бескаркасная крыша, кольца жесткости, анкерное крепление стенки. К ограждающим конструкциям резервуара относятся: настил стационарной крыши и центральная часть днища.

Резервуар РВСП (рисунок - 4) – это резервуары, схожие по конструкции с резервуарами типа РВС (имеют стационарную крышу) и снабжены плавающим понтоном. Понтоны перемещаются по двум направляющим, трубам, одна из которых служит кожухом пробоотборника, снабжены уплотняющим затвором, тщательно заземлены, а другая одновременно используется для ручного отбора проб.

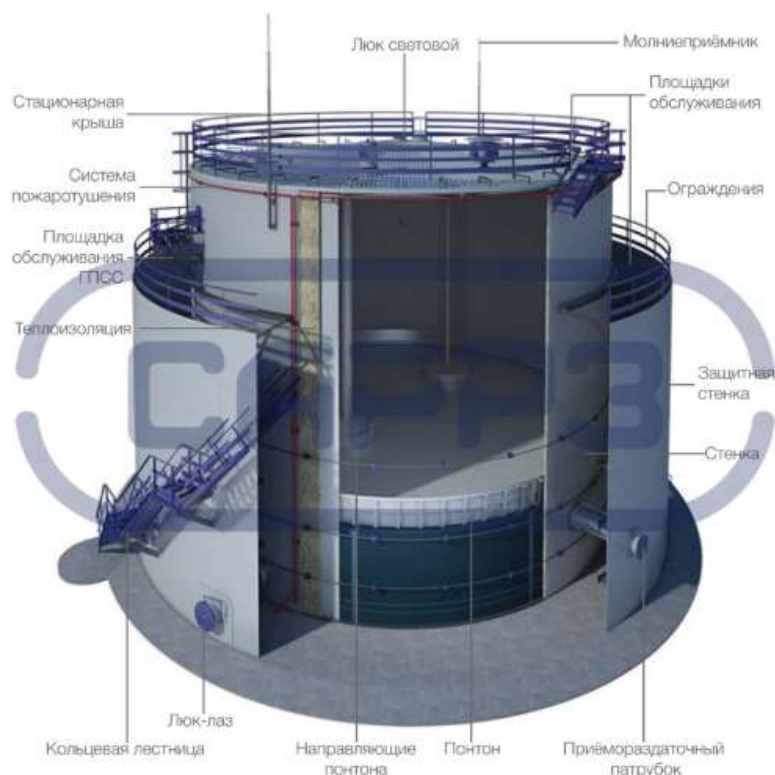


Рисунок 4 – Резервуар вертикальный стальной с понтоном

Понтон РВСП имеет поплавковую конструкцию, закрывающую не менее 95% поверхности нефтепродукта. Понтоны – это специальные покрытия, которые используются для вертикальных резервуаров и емкостей с нефтепродуктами, которые плавают на поверхности жидкостей и тем самым препятствуют их испарению и возгоранию. Понтоны также помогают снизить вредное воздействие промышленных жидкостей на окружающую среду. Понтон можно смонтировать как в новых, так и в находящихся в эксплуатации резервуарах. Плавуность понтона обеспечивают ряды круглых поплавков на которых закреплены секции настила, присоединенные к верхней балке с помощью прижимных планок. Герметичность кольцевого зазора между понтоном и стенкой резервуара обеспечивает уплотняющий затвор. Конструкция понтона сборно-разборная, ремонтно - пригодная, размеры деталей и сборочных единиц применяемых в конструкции позволяют внести их для монтажа во внутрь резервуара через существующие люки-лазы в нижнем поясе резервуара.

Срок службы РВСП не менее 50 лет, с капитальным ремонтом через каждые 20 лет.

Резервуар с плавающей крышей (рисунок 5) - является альтернативой резервуарам вертикальным стальным и резервуарам вертикальным стальным с понтоном.



Рисунок 5 – резервуар с плавающей крышей

Допустимые объемы резервуаров с плавающей крышей от 5000м^3 и выше. Плавающие крыши бывают двух основных типов:

- однодечная плавающая крыша
- двудечная плавающая крыша.

Однодечная плавающая крыша состоит из герметичных кольцевых коробов, расположенных по периметру крыши, и центральной однослойной мембраны (деки), имеет организованный уклон к центру. Уклон мембраны достигается установкой пригрузов или радиальных ребер жесткости. Двудечная плавающая крыша может быть выполнена в двух вариантах:

а) С радиальным расположением коробов - крыша состоит из коробов прямоугольной формы, располагаемых на плане крыши в радиальном направлении. Пространство между коробами заполняется на монтаже листовыми вставками по нижней и верхней декам, образуя монтажные отсеки.

б) С кольцевым расположением отсеков - крыша состоит из нижней и верхней дек, соединяемых серией концентрических колец, образующих кольцевые отсеки. Наружный отсек разделяется радиальными переборками на кольцевые короба.

Выбор конструкции плавающей крыши (однодечной или двудечной) осуществляется основании анализа металлоемкости, сроков изготовления, монтажа и надежности эксплуатации.

2.3Монтаж РВС

Монтаж резервуаров - это трудоемкая работа, от качества выполнения которой зависит безопасная работа емкостей (при соблюдении правил эксплуатации). Монтаж резервуаров делится на два этапа:

- Подготовка площадки строительства и фундамента (рисунок 6);
- Монтаж металлоконструкций (рисунок 7);
- Испытания.



Рисунок 6 – Подготовка площадки строительства РВС

Все работы производятся в соответствии с технологической картой, проектом производства работ ППР и проектом строительства, который является

частью рабочей документации. Основными исполнительными документами являются акты выполненных работ, испытаний и освидетельствований, исполнительные схемы.



Рисунок 7 – Монтаж PVC

Перед началом монтажа самой емкости подготавливается площадка строительства, возводятся необходимые сооружения, подводятся транспортные пути, подсоединяются инженерные сети. Устройство основания и фундамента - важный этап, так как он влияет на равномерность и скорость усадки металлоконструкций, а значит и на сохранение его геометрии и устойчивости. Технология подготовки фундамента и основания зависит от массы металлоконструкций и качества грунта. Если почва не обладает достаточной несущей способностью, производится усиление грунта и его уплотнение или замена вместе с отводом грунтовых вод.

Резервуары до 5000 м³ устанавливаются на грунтовое основание под уклоном 1:50 от центра к периферии с песчаной подушкой толщиной до 2 м и гидрофобным (гидроизоляционным) слоем из смеси грунта, битума, дегтя, гудрона или мазута толщиной до 200 мм. Резервуары более 10000 м³ монтируются дополнительно на кольцевой железобетонный фундамент, располагающийся по периметру стенки

для восприятия нагрузок от нее. Для очень слабых грунтов забиваются сваи, которые сверху покрываются железобетонными плитами.

Только после приемки фундамента и основания можно осуществлять монтаж РВС.

Монтаж резервуаров рулонным способом (рисунок 8) заключается в доставке на строительную площадку стенки, свернутой в рулон. Днище может поставляться также в рулонном виде (диаметром до 12 м) или, как крыша, укрупненными элементами. Предварительная сварка металлоконструкций стенки, днища и крыши производится на заводе.



Рисунок 8 – Монтаж резервуаров рулонным способом

Сначала на бетонное или грунтовое основание устанавливаются, крепятся и свариваются элементы днища: сначала окрайки (т.е. периферийные листы), а затем центральная часть. Далее в вертикальное положение устанавливается стенка. В центре крепится постоянная или временная расчалка (стойка) для монтажа стационарной крыши: постоянная для РВС до 5000 м³, временная - для РВС объемом 10000-20000 м³. Затем стенка разворачивается по периметру и сваривается вертикальными и двухсторонними тавровыми швами. Параллельно осуществляется монтаж щитов стационарной крыши. Плавающая же крыша и

понтон монтируются сразу после установки днища. При необходимости по периметру верхней кромки резервуара устанавливаются кольца жесткости.

Монтаж резервуаров РВС полистовой сборкой (рисунок 9) заключается в поэтапной сборке отдельных элементов стенки. Сборка поясов начинается с нижнего пояса. Возможно предварительное укрупнение элементов уже на строительной площадке: например, несколько листов свариваются между собой и крепятся к уже смонтированной стенке.



Рисунок 9 – Монтаж резервуаров полистовой сборкой

Одним из вариантов полистового способа является болтовое соединение элементов стенки. Данный метод очень выгоден для монтажа в труднодоступных или труднопроходимых районах, куда сложно или практически невозможно организовать проезд крупной строительной техники. При выборе такого метода стенка резервуара поставляется на строительную площадку в разобранном виде. Фундамент под данный резервуар подготавливается такой же как и для монтажа методом рулонирования.

После окончания монтажных работ проводится зачистка поверхностей, а затем их антикоррозионная обработка грунтовкой (рисунок 10).

(СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии)

При выполнении работ по антикоррозионной обработке должны быть учтены требования по охране окружающей среды и требований правил техники безопасности в строительстве: СНиП 2.03.11, СНиП 1.03-05, ГОСТ 12.3.005, ГОСТ 12.3.016, ГОСТ 12.4.011, СН-245.

Перед вводом резервуаров в эксплуатацию проводятся гидравлические испытания на герметичность и прочность, емкости заполняются водой до проектного уровня. Проверка крыши происходит путем налива воды до уровня крыши, за счет чего увеличивается внутреннее давление на крышу.



Рисунок 10 – Антикоррозионная обработка РВС

2.4 Эксплуатация РВС

Персонал, отвечающий за техническую эксплуатацию резервуаров и резервуарных парков, должны отслеживать надежность и работу согласно технике безопасности, сохранять качество и количество нефтепродуктов. При выполнении всех задач достигается соблюдение правил эксплуатации, контролем за техническим обслуживанием и состоянием резервуаров, а также своевременной подготовкой к зимнему сезону и паводку.

При заполнении резервуара нефтепродуктом, после монтажа, скорость продукта в приемо-раздаточном патрубке должна быть ниже 1 м/с, до полного затопления струи, а в РВСП и РВСПК должна быть до их всплытия, и не зависеть от диаметра патрубка и емкости резервуара. При отборе проб из резервуара нужно не допустить разлива нефтепродукта. Если все таки произошел разлив нефтепродуктов на крыше резервуара нужно вытереть ветошью насухо, ветошь утилизировать. Запрещается оставлять на крыше посторонние предметы, такие как: пакля, ветошь и другие предметы.

Зачистка резервуаров

Зачистка резервуаров происходит:

- а) два раза в год для авиационных нефтепродуктов и их компонентов;
- б) один раз в год - для масел и присадок;
- в) один раз в два года для бензина, дизельного топлива и других нефтепродуктов схожих по свойствам.

Помимо вышеизложенных случаев резервуары также зачищают по необходимости: высоковязких осадков, ржавчины и воды, смены сорта хранящегося нефтепродукта, освобождения от пиррофорных отложений;

Каждый введенный в эксплуатацию резервуар должен иметь весь необходимый комплект оборудования, который предусматривался проектом. Во время перекачки не допускаются одновременные процессы с задвижками по включению нового резервуара и отключению действующего. Наполнение резервуаров нефтью и нефтепродуктами должно проходить при свободно опущенной хлопушке. По завершении перекачки персонал обязан закрыть хлопушку.

Осадки основания должны систематически контролироваться. Новые резервуары в первые четыре года эксплуатации не реже одного раза в год нужно проверять состояние базы с помощью нивелирования и не реже двух раз в год для резервуаров, находящихся в районах со сложными наземными условиями. В резервуарах, которые находятся в эксплуатации в течение четырех или более четырех лет (после осадения резервуара), выравнивание осуществляется каждые

пять лет. После выравнивания сделайте заявление с указанием выпадающих осадков в период эксплуатации (ГОСТ 18322-78).

При осмотре резервуара особое внимание нужно уделить состоянию сварных швов на окрайки днища и нижних поясах корпуса, а также герметичности разъемных соединений.

При возникновении трещин в основном металле днища или швах, резервуар нужно немедленно опорожнить от нефтепродуктов и зачистить для ремонта. Действующий резервуар опорожняют полностью или частично, все зависит от способа его ремонта.

3. Анализ аварийных ситуаций, вызванных неравномерными осадками

В настоящее время информации об аварийных случаях, связанных с эксплуатируемыми резервуарами сравнительно немного, поскольку до недавнего времени эта информация считалась конфиденциальной, а так же связано с нежеланием компаний, как у нас в стране, так и за рубежом, распространять негативную информацию о истинных причинах разрушения резервуаров, о масштабе причинённого ущерба, экологических ущербах аварии, и нередко предоставляют недостоверные сведения или вовсе фальсифицируют результаты экспертиз.

Аварии РВС, сопровождающиеся значительными потерями н/продуктов, и могут привести к отравлению местности и гибели людей.

Основными причинами аварий могут явиться:

- 1) местные просадки основания;
- 2) воздействие низких температур окружающего воздуха;
- 3) искажение формы оболочки из-за низкого качества ее монтажа или некачественно выполненного фундамента;
- 4) дефекты сварных соединений;
- 5) вибрационное воздействие насосов при перекачивании жидкости;
- 6) неравномерное оседание основания;
- 7) размыв несущего слоя основания жидкостью при повреждении днища коррозией.

Анализируя статистику разрушений РВС (рис.1), можно сделать вывод, что основной причиной разрушения, является неравномерная осадка.

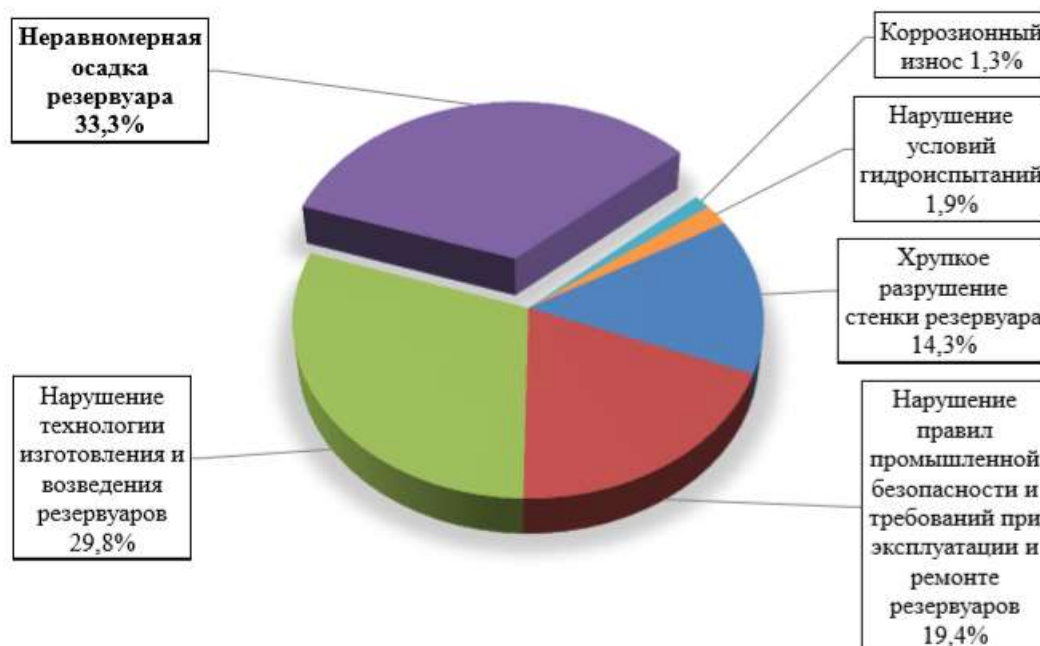


Рисунок 11 – основные разрушения РВС

Чрезвычайные ситуации часто вызваны осаждением оснований вертикальных стальных резервуаров. Они достигают наибольшего значения у стенок, и наименьшего в центре. Это говорит о том, что осаждение происходит неравномерно. В этом случае появляются растягивающие напряжения в днище, возникают изменения формы цилиндрической оболочки. В дополнение к этому, процесс сопровождается образованием вмятин, а в некоторых случаях могут появиться трещины в днище. Равномерная осадка не гарантирует отсутствия разрушения близ лежащих коммуникаций. В местах соединения они также могут быть разрушены. Разрушение резервуара обычно начинается с появления трещин в корпусе, что приводит к аварийному загрязнению среды нефтью. Интенсивность разрушения зависит от различных условий.

Как правило, сразу после гидростатического испытания между центральной частью и стенкой возникает неравномерная осадка, которая обусловлена из-за разницы гидростатического и почвенного давления на стенки грунта. Давление в средней части не более 0. 1-0 2 МПа, давление на стенки составляет 0. 9 до 1. 5 МПа.

Деформация грунта происходит за счет неизбежного накопления основания резервуара, так как грунт уплотняется под нагрузкой, вызванной массой

конструкции РВС и хранящейся в ней жидкостью. А все потому, что по периметру грунта неизбежны осадки и локальные просадки, а уплотнить почву в такой же степени искусственными основаниями невозможно.

Поскольку вышеупомянутые отложения блока РВС имеют дополнительную деформацию, особенно это касается нижней стенки и нижней кромки соединения, что приводит к дополнительным напряжениям. Неравномерная осадка, которая привела к появлению напряжений, может спровоцировать возникновение разрушений пластин и уничтожению сопрягающих узлов.

За последние 30 лет в 38 случаях из 43 причиной разрушения является неравномерная осадка.

Таким образом, приходим к выводу, что проводить оценку напряженно-деформированного состояния нужно под нагрузкой и с учетом его действительной пространственной положения и геометрической формы, для того чтобы определить техническое состояние резервуара и провести ремонтные работы.

4. Характеристика территории объекта исследования

Исследуемый вертикальный стальной резервуар находится в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, Красноярского края на территории С. месторождения.

Расстояние от Игарки до месторождения 130 км (Рис. 12). от Дудинки 160 км, от Нового Уренгоя 200 км, а от Красноярска 1700 км.



Рисунок 12 – Таймырский Долгано-Ненецкий район

Сообщение с месторождением осуществляется круглогодично воздушным транспортом (вертолетами от п. Дудинка и п. Игарка) и в зимнее время по временным автодорогам (зимникам).

По физико-географическому положению в региональном плане район работ расположен в северо-восточной части Западно-Сибирской низменности.

Район представляет собой низменную полого холмистую равнину с средними абсолютными отметками высоты местности 60 – 80 м над уровнем моря, расположенную в бассейне реки Солёная, принадлежащую Енисейскому речному бассейну.

Водные объекты на территории обследуемого участка представлены верхними звеньями гидрографической сети реки Солёная, к которым относятся небольшие притоки, ручьи, лога, овраги.

Реки типично равнинные со слабовыраженными, сильно заболоченными долинами, плоскими, часто заболоченными водоразделами. Реки характеризуются спокойным течением и повышенной извилистостью. Суровый климат обуславливает длительный ледостав (октябрь - май) и отсутствие стока в зимний период на малых реках.

Наиболее широкое распространение имеют термокарстовые озёра, образовавшиеся в результате нарушения термических условий мёрзлых грунтов и таяния заключённого в них льда. Они обычно отличаются небольшими размерами и округлыми формами, приурочены, в основном, к заболоченным поймам рек и плоским водоразделам. Хотя надо отметить наличие в районе исследований и достаточно крупных озёр, достигающих по площади нескольких квадратных километров (оз.Бол. Советское) и глубинами до 30 м.

Рельеф территории в его современном виде сформировался в результате процессов морской и ледниковой аккумуляции.

Ледниковая аккумуляция сформировала на существовавшем морском цоколе комплекс форм рельефа ледникового и водно-ледникового происхождения.

Район работ расположен в зоне ледникового комплекса. В составе ледникового комплекса выделяется два типа рельефа: ледниково-аккумулятивный и водно-ледниковый (флювиогляциальный).

Ледниковый тип характеризуется развитием холмисто-грядового рельефа основной морены и озерно-холмистого рельефа краевых образований. Характерным морфологическим признаком этого рельефа является обилие озёр различной величины и конфигурации, расположенных в понижениях между беспорядочно разбросанными холмами. Развитие озерных котловин происходит под влиянием термокарстовых процессов. Широко развита заболоченность.

Водно-ледниковый тип рельефа представляет собой задровую равнину с плоской слабонаклонной поверхностью. Волнистый характер поверхности обусловлен чередованием слабо выраженных водоразделов с пологими плохо выраженными склонами и ложбинами стока.

В современную эпоху основными рельефообразующими процессами являются продолжающиеся эрозионно-аккумулятивная речная деятельность и денудация. Существенным фактором рельефообразования является комплекс процессов, связанных с мерзлотой. Криогенные процессы представлены в виде полигональных грунтов, бугров пучения и тундровых медальонов.

В ландшафтном отношении район располагается в пределах южной субарктической кустарниковой тундры. Высота кустарника, произрастающего по долинам рек и вокруг озер, достигает 2-3 м.

Климат района субарктический. Отрицательная среднемесячная температура воздуха держится в течение 8-9 месяцев. Средняя температура января составляет минус 28 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет - 10,1°С. Лето короткое и холодное. Самый теплый месяц лета - июль, имеет среднюю температуру +12,3°С. Среднегодовая скорость ветра – 6 м/сек. Летом преобладают ветры северо-западного направления, зимой – юго-восточного. Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 200-250 мм. Снежный покров устанавливается в середине октября, а сходит к концу июня. Реки замерзают в конце сентября – начале октября, а вскрываются в первой половине июня.

Над рассматриваемой территорией перенос воздушных масс обычно осуществляется в направлении с запада на восток, осенью наоборот, чаще вторгаются воздушные массы со стороны Баренцова и Карского морей. За счет того, что здесь располагается барическая ложбина, простирающаяся от Исландского минимума, в этом районе зимой отмечается усиление циклонической деятельности.

В холодный период года (с октября по апрель – май) проявляется воздействие барических областей, устанавливающихся над северной частью Атлантического океана. В связи с этим зимой, продолжительность которой достигает восьми месяцев, преобладают западные и югозападные воздушные течения. Они представляют собой поток относительно тёплого воздуха, формирующегося над европейским континентом.

С распространением на континент относительно тёплых и насыщенных влагой воздушных масс связано установление облачной погоды, выпадение снега, повышение отрицательной температуры воздуха и малое количество солнечной радиации (21 ккал/см² в год).

В летний период над территорией преобладают северные вторжения арктических масс холодного и сухого воздуха континентального типа, распространение которых приводит к установлению относительно малооблачной погоды антициклонального типа и к резкому понижению температуры воздуха. В общем, для района характерна частая смена направления воздушных течений, чем объясняется неустойчивость погоды в течение всего года.

Исследуемая территория расположена севернее Полярного круга в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Исключение могут составлять участки, приуроченные к таликовым зонам под крупными реками и под крупными озерными котловинами.

5. Характеристика резервуара – 10000 м³

Резервуар находится на территории УПН и ГТЭС С. месторождения. Резервуар стальной вертикальный сварной.

Резервуар состоит из 8 поясов стенки разной толщины общей высотой 11,9 м. Диаметр резервуара составляет 34200 мм. Толщина верхнего пояса 11 мм, нижнего 12 мм. Вид хранимого продукта – товарная нефть с удельным весом 860 кг/м³. Данные о металле корпуса и днища: сталь 09Г2С ГОСТ 5058-65 с дополнительной гарантией ударной вязкости при температуре -40 °С. Металл настила кровли - Ст3.

Принято, что резервуар жестко закреплен по нижнему ребру стенки. На сооружения действуют следующие нагрузки: гидростатическая от столба жидкости плотностью 860 кг/м³; ветровая (приложена к стенке равномерно) – 300 Па; вакуумметрическое давление – 250 Па; снеговая нагрузка – 2260 кН, нагрузка от веса кровли оборудования и кровли – 728 кН, которые приложены равномерно к верхнему ребру стенки РВС-10000.



Рисунок 13 –РВС 10000

6. Наземное лазерное сканирование резервуара

Цель измерения фактических геометрических параметров резервуаров состоит в том, чтоб проанализировать состояние и положение до начала эксплуатации учитывая все нормативные допустимые отклонения. На основании этого контроля своевременно разрабатывают и проводят инженерно-технические мероприятия по предупреждению и устранению опасных для конструкций деформаций.

Трехмерное сканирование – это систематический процесс определения координат точек, принадлежащих поверхностям физических объектов, с целью последующего получения их пространственных математических моделей.

Для измерений использовался наземный лазерный сканер Leica C10, удовлетворяющий требованиям проекта к точности измерений. Для охвата всей поверхности резервуара съемка выполнялась с нескольких позиций на расстоянии до 25м от РВС, с шагом точек от 2 до 4 мм. Результаты сканирования для регистрации сканов осуществлялась в специализированной программе Leica Cyclone для получения лучшего результата и объединённая точечная модель РВС. Данная объединённая точечная модель является исходной для определения деформаций РВС.

Геометрическая форма измерена на верхнем уровне каждого пояса от вертикали. Измерения в точках, соответствующих вертикальным стыкам 1-го пояса.

Для РВС-10000 высотой до 12 м предельные отклонения должны быть меньше указанных в таблице 1. При этом 25% образующих могут иметь отклонения на 30% больше, чем указано.

Таблица 1 – Предельные отклонения образующих.

№ пояса	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина отклонения, мм	20	30	40	50	60	70	75	80

Результаты замеров приведены в таблице 2

Сравнивая результаты замеров с допустимыми величинами, видно, что отклонения стенки от вертикали имеют отклонения от нормы на 1 поясе в 5,8 и 11 шве.

По результатам проведения наземного лазерного сканирования RVC-1000 была получена единая трехмерная точечная модель поверхности стенки резервуара в системе координат, построенной относительно первой сканерной станции. По графическому представлению возможно качественно оценить расположение основания резервуара, стационарных металлоконструкций, рабочих площадок и прочих инженерных решений элементов конструкции. Результаты построения представлены на рисунке 3.

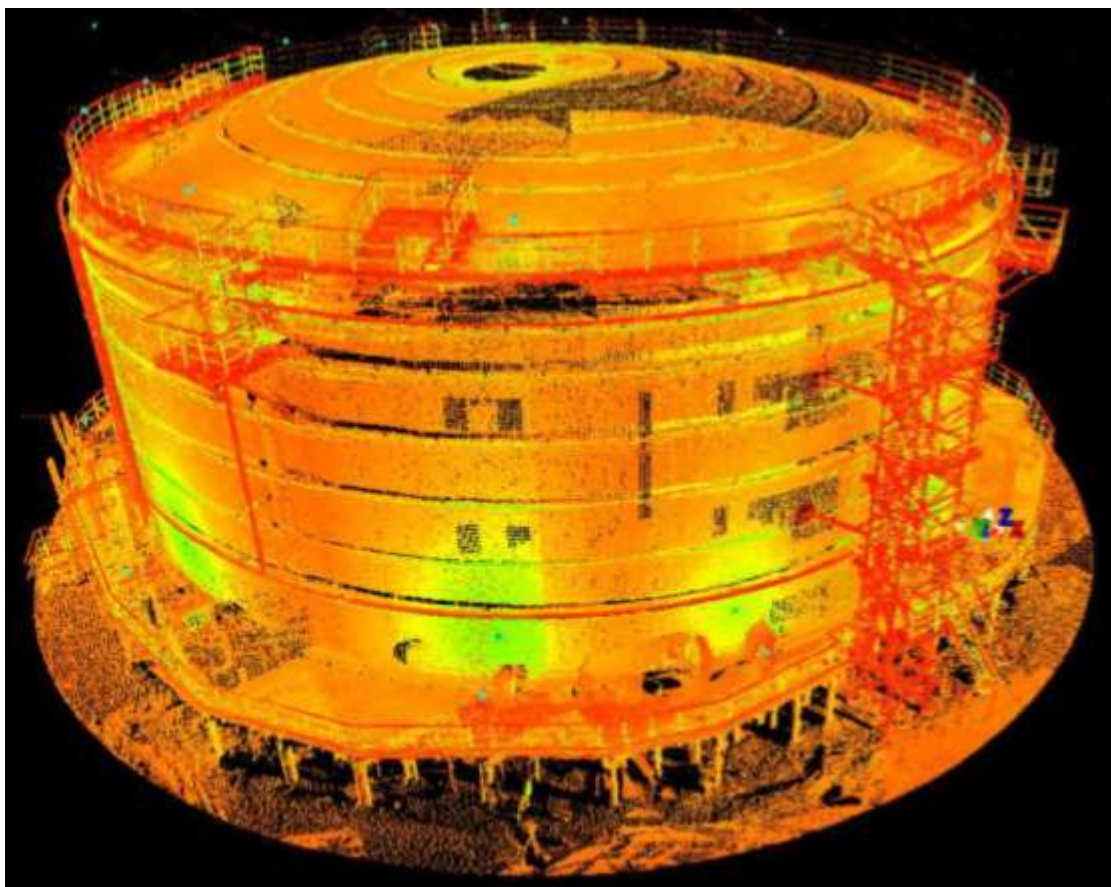


Рисунок 14 – скан резервуара

На рисунке 15 изображены зоны деформации стенок РВС 10000. Из рисунка видна цветовая карта отклонений между идеальной поверхностью и фактической. Зоны несоответствия поверхностей окрашены в соответствии с цветовой картой. Максимальное отрицательное отклонение от вертикали соответствует поясу 5 вблизи шва №9 и равно -61 мм. Максимальное положительное отклонение от вертикали располагается в области пояса 5 в районе шва №3 и составляет 32 мм. Отклонения от вертикали характерны для всего резервуара.

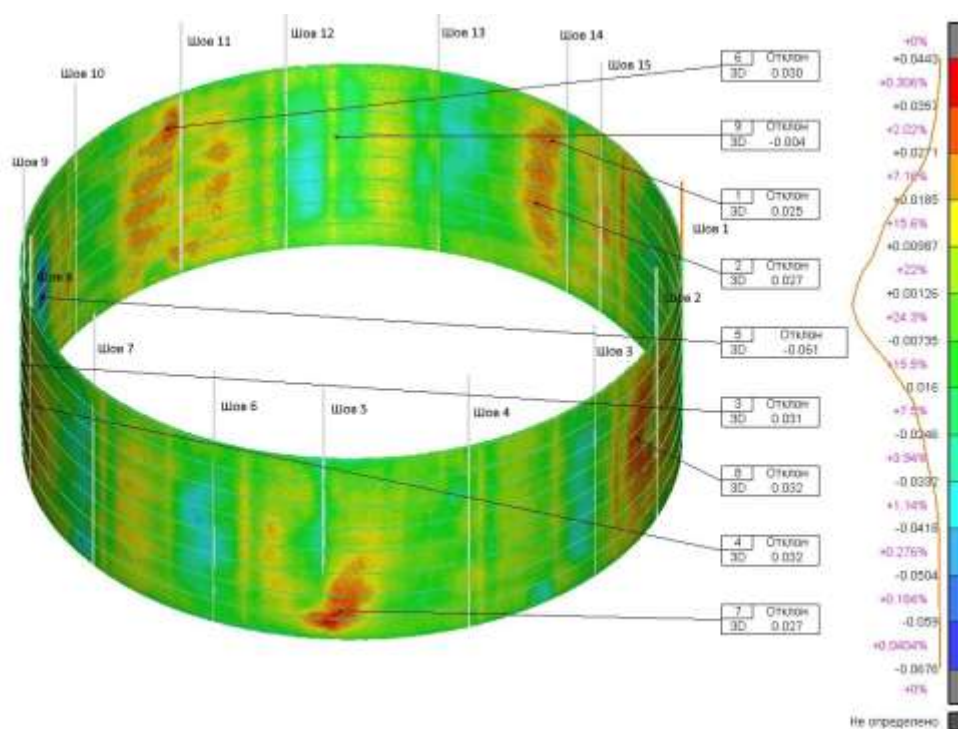


Рисунок 15 – Зоны деформации стенок резервуара

На рисунке 16 изображены зоны деформации дна резервуара. Из рисунка видно максимальные отрицательные и максимальные положительные отклонения дна.

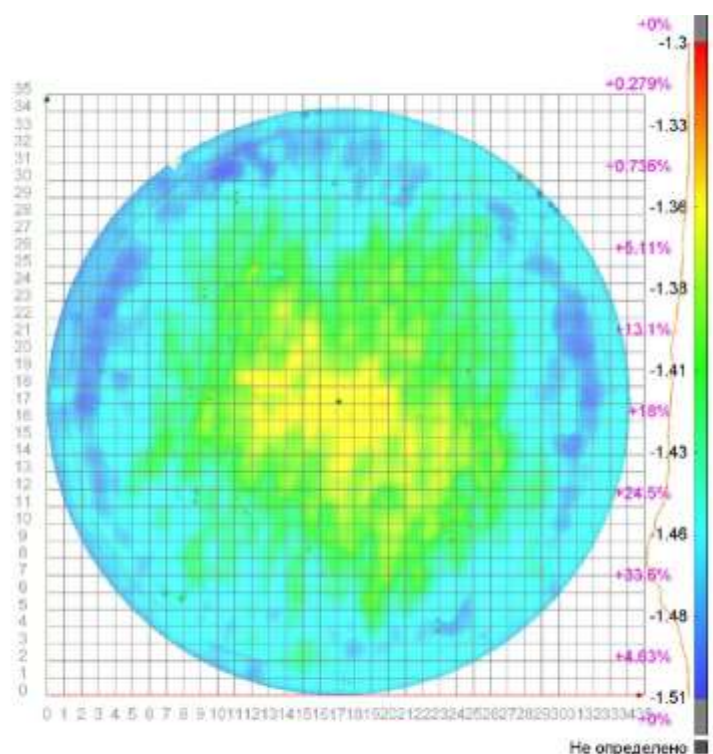


Рисунок 16 – Зоны деформации дна резервуара

На рисунке 17 приведены результаты внутреннего сканирования РВС. На рисунке показаны внутренний регистр подогрева и прочие инженерные решения элементов конструкции.

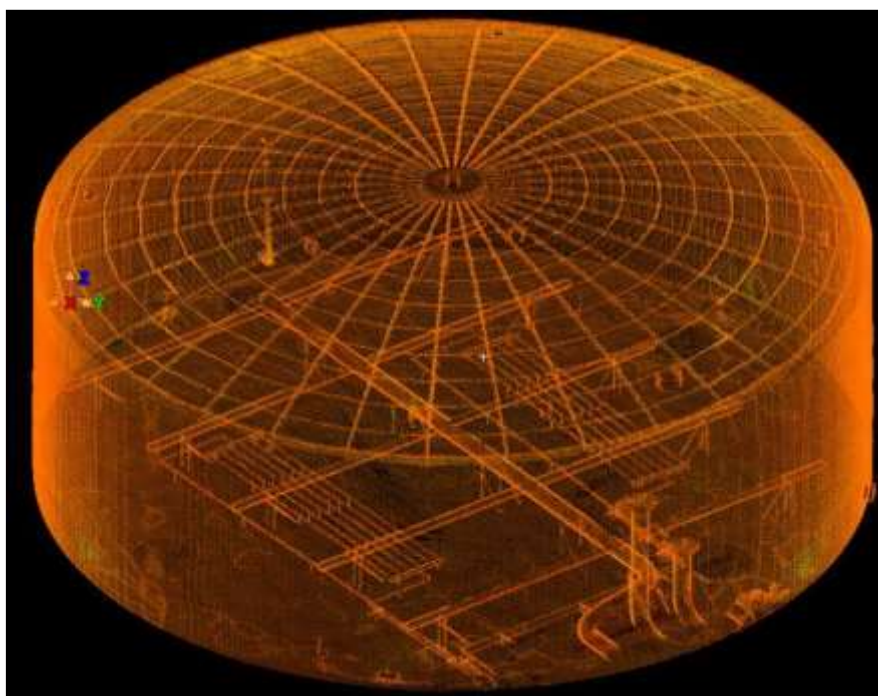


Рисунок 17 – Результаты сканирования внутреннего пространства РВС

На основании единой точечной модели поверхности стенки резервуара были определены отклонения образующих стенки резервуара от вертикали.

Результаты проведенных измерений, а также результаты сравнения данных, полученных при помощи НЛС, и данных последней полной диагностики резервуара представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Отклонения образующих РВС-10000

№ шва	№ пояса							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Величина отклонения образующей от вертикали, мм							
1	-8	-8	-24	-13	-8	-32	-28	-15
2	25	15	13	22	3	13	23	-3
3	-6	4	-19	-30	-9	-27	-21	-10
4	0	-2	-3	-3	0	-3	-6	-5
5	26	24	17	-4	-28	-19	-4	-23
6	-14	-20	-31	-28	-9	-19	-16	-6
7	-19	-1	-6	-18	-12	-12	-6	0
8	24	20	18	30	28	8	15	4
9	-11	7	-6	-4	3	0	-7	12
10	3	6	7	0	0	-9	-8	4
11	24	18	13	11	8	11	22	15
12	-4	-21	-20	-21	-18	-21	-17	1
13	-4	-4	-27	-26	-26	-36	-27	-18
14	19	2	-4	0	-16	-9	-6	-5

7. Аналитический растёт резервуара.

7.1. Вертикальные цилиндрические резервуары

Вертикальный стальной резервуар (РВС) цилиндрический – объемная, наземная конструкция в виде стоячего цилиндра, с его установочными характеристиками, предназначенная для приема, хранения, измерения объема и доставки нефти и нефтепродуктов. Основные компоненты резервуара являются: стенка (а), основание, дно (Б) и кровля (б) (рис. 18).

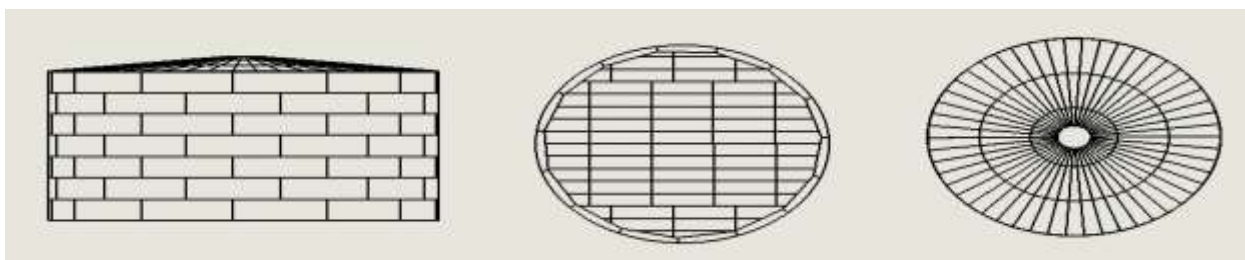


Рисунок 18 – составные части резервуара

Геометрическая модель резервуара построена в соответствии со значениями, принятыми для РВС-10000. Внутренний диаметр стенки 34200 мм, высота стенки 11920 мм. Толщина стенки для первого пояса составляет 13 мм, для 2-8 поясов-12 мм. Листы стены выровнены по внутреннему краю. Для задания гидростатической нагрузки подбираются следующие параметры: высота нефтепродукта 10,8 м, плотность хранимой нефти $\rho=860 \text{ кг/м}^3$. Материал металлоконструкций-конструкционная сталь низколегированная 09Г2С с пределом текучести $\sigma_{0,2}=300 \text{ МПа..}$

7.2. Выбор материала

Для изготовления вертикальных цилиндрических резервуаров с плоским днищем главным образом применяются стали марок Ст2, Ст3, а также низколегированные стали 09Г2С-12 и 09Г2У.

Резервуар располагается в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе, Красноярского края, где колебания температур составляет от - 39 до + 27 °С. Согласно ТКП 45-5.04-172-2010 данным

климатическим условиям соответствует сталь 09Г2С-12, так как температурная область её применения может охватывать диапазон температур от – 40 до + 200°С.

Согласно ГОСТ 19281-89 и ТКП 45-5.04-172-2010, данная сталь обладает следующими химическими и механическими свойствами (Таблица 3).

Таблица 3

Пределы содержания химических элементов в стали 09Г2С-12					
С	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
До 0,12	05-08	1,3-1,7	до 0,30	до 0,30	до 0,30
Механические свойства стали 09Г2С при толщине листа от 4 до 32 мм					
Предел текучности, МПа (Н/мм ²), не менее	Временное сопротивление, МПа (Н/мм ²), не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Изгиб до параллельности сторон	Ударная вязкость КСV, (Дж/см ²), при температуре, -40°С)	
345	490	21	d=2a	не менее 35	

09Г2С-12 хорошо сваривается, при этом сварные швы обладают необходимой стойкостью против образования кристаллизационных трещин вследствие пониженного содержания углерода.

09Г2С-12 сравнительно не дорогая и поэтому целесообразно ее применение.

7.3. Назначение размеров резервуара

С учетом обработки кромок листа при дальнейших расчетах принимаются следующие его размеры: 1490 × 7600 мм. Соответственно количество поясов в резервуаре будет равно восьми. Точная высота резервуара $H = 1490 \cdot 8 = 11920$ мм. Радиус резервуара определяется из формулы 1 для объема цилиндра:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot H \quad (1)$$

где r – радиус резервуара, м;

H – высота стенки резервуара, мм.

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{10000}{3.14 \cdot 11920}} = 17100 \text{ (мм)}$$

Периметр резервуара L_{π} и число листов в поясе N_{π} рассчитываются по формулам 2 и 3 соответственно.

$$L_{\pi} = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (2)$$

$$N_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{L} \quad (3)$$

где L - длина листа в поясе резервуара, мм.

$$L_{\pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 17100 = 107388 \text{ (мм)}$$

$$N_{\pi} = \frac{107388}{7600} = 14,13 \text{ (шт)}$$

7.4. Расчёт стенки резервуара

Согласно ТКП 45-5.04-172-2010 номинальная толщина каждого пояса стенки резервуара t_u рассчитывается по формуле:

$$t_u = [0.001 \cdot \rho \cdot g \cdot (H_i - X_L) + 1.2 \cdot p] \cdot \frac{r}{R} + \Delta t_{cU} + \Delta t_{mU} \quad (4)$$

$$\text{где } X_L = \sqrt{r \cdot (t_L - \Delta t_{cL} - \Delta t_{mL})} \quad (5)$$

Расчетное сопротивление материала стенки резервуаров по пределу текучести определяется по формуле:

$$R = \frac{R_{yn} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (6)$$

ρ – плотность нефти, $860 \text{ кг/м}^3 = 0,860 \text{ т/м}^3$;

γ_c – коэффициент условий работы;

γ_m – коэффициент надежности по материалу, $\gamma_m = 1,025$

R – расчетное сопротивление материала пояса стенки по пределу текучести, МПа;

t_{mU} – минусовой допуск на зону проката стенки, примыкающего к i -му стыку снизу, мм;

γ_t – температурный коэффициент, $\gamma_t = 1$;

p – нормативное избыточное давление в газовом пространстве, 0 МПа;

t_{cU} – припуск на коррозию пояса стенки, примыкающего к i -му стыку снизу, м;

$\gamma_c = 0,7$ -для нижнего пояса; $\gamma_c = 0,8$ -для остальных поясов;

где t_L – заданная номинальная толщина пояса, примыкающего снизу к i -му стыку, м;

R_{yn} – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла стенки, равное минимальному значению предела текучести, принятым государственным стандартам для листового металла;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

H_i – расстояние от зеркала продукта до i -го стыка поясов при эксплуатации, м.

γ_n – коэффициент надежности по ответственности, для I класса опасности $\gamma_n = 1,2$; для II класса $\gamma_n = 1,1$; для III класса $\gamma_n = 1,05$; для IV класса $\gamma_n = 1$.

Результаты расчета толщины t_u каждой стенки пояса следует округлить до целого числа, в соответствии со значениями толщины проката по ГОСТ 19903, сравнить с минимальной толщиной стенки и привести все данные в таблицу.

Рассчитать сопротивление материала стенки для нижнего пояса по пределу текучести.

$$R = \frac{345 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,2} = 196,34 \text{ (МПа)}$$

Рассчитаем для остальных поясов сопротивление материала стенки резервуаров по пределу текучести:

$$R = \frac{345 \cdot 0,8 \cdot 1}{1,025 \cdot 1,2} = 224,39 \text{ (МПа)}$$

Номинальная толщина каждого пояса стенки резервуара t_u :

Для нижнего пояса:

$$X_L = 0$$

$$\begin{aligned} t_u &= [0,001 \cdot 0,860 \cdot 9,8 \cdot (11,085 - 0) + 1,2 \cdot 0] \cdot \frac{17,100}{196,34} + 0,001 + 0,0008 = \\ &= 0,00986 \text{ (м)} = 11,86 \text{ (мм)} \end{aligned}$$

Для второго пояса:

$$X_L = \sqrt{17,100 \cdot (0,00986 - 0,001 - 0,0008)} = 0,337 \text{ (м)}$$

$$t_u = [0,001 \cdot 0,860 \cdot 9,8 \cdot (9,595 - 0,337) + 1,2 \cdot 0] \cdot \frac{17,100}{214,19} + 0,001 + 0,0008 =$$

$$= 0,00761 \text{ (м)} = 10,61 \text{ (мм)}$$

Сведём результаты подсчётов в таблицу:

Таблица 4

Номер пояса	Номинальная толщина пояса t_U , мм	Δt_{cU} , мм	t_{mU} , мм	Минимальная толщина стенки t_{min} , мм	Принятая толщина пояса t , мм
1	12,86	1	0,8	8	13
2	11,61	1	0,8		12
3	10,55	1	0,8		12
4	9,48	1	0,8		12
5	8,41	1	0,8		12
6	7,34	1	0,8		12
7	7,25	1	0,8		12
8	7,10	1	0,8	8	12

7.5 Расчёт днища

Расчёт ширины окраечного кольца днища проводится по формуле:

$$L_0 = k_2 \cdot \sqrt{r \cdot t_1} \quad (7)$$

где t_1 — номинальная толщина нижнего пояса стенки;

$k_2 = 0,92$ — безразмерный коэффициент;

r — радиус резервуара.

$$L_0 = 0,92 \cdot \sqrt{17,100 \cdot 0,01} = 0,346 \text{ (м)} = 346 \text{ (мм)}$$

Толщина кольцевых окрасок днища вычисляется по формуле:

$$t_b = \left(k_1 - 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{r}{t_1 - \Delta t_{cs}}} \right) \cdot (t_1 - \Delta t_{cs}) + \Delta t_{cb} + \Delta t_{mb} \quad (8)$$

где $k_1 = 0,77$ — безразмерный коэффициент;

$\Delta t_{cs}, \Delta t_{cb}$ –припуск на коррозию нижнего пояса стенки и днища соответственно;

Δt_{mb} –минусовой допуск на прокат окрайки днища.

$$t_b = \left(0,77 - 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{17,100}{0,01 - 0,001}} \right) \cdot (0,01 - 0,001) + 0,001 + 0,0008 = \\ = 0,0078 \text{ (м)} = 7,8 \text{ (мм)}$$

Согласно ТКП 45-5.04-172-2010 номинальная толщина окрайки днища равна 7 мм, исключая припуск на коррозию, согласно расчётам принимаем толщину окрайки равную 8 мм и ширину окрайки равную 700мм.

7.6 Расчёт кровли

Самонесущие купольные (сферические) крыши должны отвечать следующим требованиям:

- Минимальный радиус сферической поверхности равен $0,8D$,
- Максимальный радиус – $1,5D$, где D – диаметр резервуара,
- Минимальная толщина настила – 5 мм.

Минимальная расчетная толщина полотна крыши по условию устойчивости без припуска на коррозию определяется по формуле:

$$t_k = 4,48 * \left(\frac{P}{E} \right)^{0,5} * \frac{r}{\sin \theta}, \quad (9)$$

где θ – угол крыши с горизонтальной плоскостью, $\sin \theta = 20^\circ$,

E – модуль упругости стали,

P – расчетная нагрузка, Па,

Из уравнения (11) определяем расчетную нагрузку:

$$P = 1,05 * g_m + 0,95 * 1,2g_y + 0,9 * 1,6 * S + 0,95 * 1,2P_{\text{вак}}, \quad (10)$$

где g_m – масса 1 м² листа крыши, кг,

g_y – масса 1 м² утеплителя, кг, $g_y = 0$,

S – полное нормативное значение снеговой нагрузке, (II район по снеговому покрову), Па,

$P_{\text{вак}}$ – величина относительного разрежения в резервуаре под крышей, Па.

Из уравнения (10) найдем величину g_m :

$$g_m = V * \rho_{me}, \quad (11)$$

где ρ_{me} – плотность металла, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

$$g_m = 1 \cdot 1 \cdot 0,005 \cdot 7850 = 39,25 \text{ кг}.$$

Тогда уравнение расчетной нагрузки Р будет иметь вид:

$$P = 1,05 * 39,25 + 0,95 * 1,2 * 0 + 0,9 * 1,6 * 2260 + 0,95 * 1,2 * 300 = 3638 \text{ Па}.$$

Минимальная расчетная толщина полотна крыши имеет вид:

$$t_k = 4,48 \sqrt{\frac{3551}{2,06 \cdot 10^{11}}} \cdot \frac{17,75}{\sin 20} = 4,9 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину покрытия 5 мм.

Расчет узла на кольцевое растягивающее усилие:

$$N_k = r^2 \frac{P}{(2 \cdot \sin \theta)}, \quad (12)$$

Подставляем значения и получаем:

$$N_k = 14^2 \cdot \frac{3551}{2 \cdot \sin 20} = 2,1 \text{ МН}.$$

В резервуарах, работающих с избыточным внутренним давлением, узел крепления крыши вверху стенки должен быть рассчитан на кольцевое сжимающее усилие:

$$N_{kc} = r^2 \frac{(P_i - g_{\min})}{2 \cdot \sin \theta}, \quad (13)$$

где P_i – максимальное избыточное давление,

g_{\min} – минимальная вертикальная расчетная нагрузка от веса крыши,

$$g_{\min} = 0,9(g_m + g_y).$$

$$N_{kc} = 14^2 \frac{(2200 - 0,9 \cdot 39,25)}{2 \cdot \sin 20} = 1,7 \text{ МН}.$$

Расчетную площадь составляет участок крыши шириной l_k , вычисляется по формуле:

$$l_k = 0,6 \left(r \frac{t_k}{\sin \theta} \right)^{0,5}, \quad (14)$$

$$l_k = 0,6(14 \frac{0,005}{\sin(20)^{0,5}})^2 = 0,23 \text{ м.}$$

Участок стенки резервуара шириной l_c , вычисляется по формуле:

$$l_c = 0,6(r \cdot t_k)^{0,5}, \quad (15)$$

$$l_c = 0,6(14 \cdot 0,005)^{0,5} = 0,14 \text{ м.}$$

После вычисления l_k и l_c находим общую площадь элемента, воспринимающего кольцевое усилие, и рассчитываем возникающее в нем напряжение после чего сравниваем его с допустимым:

$$\frac{N_k}{S_{np} + l_k \cdot t_k + l_c \cdot \delta_c} \leq R_y, \quad (16)$$

$$S_{np} = 141,96 \text{ см}^2$$

где S_{np} – площадь сечения профиля опорного элемента.

Выбираем уголок №25 с площадью сечения профиля $S_{np} = 141,96 \text{ см}^2$ (ГОСТ 8509 – 93).

$$\frac{2,12 \cdot 10^6}{0,014196 + 0,23 \cdot 0,005 + 0,4 \cdot 0,01} \leq 293 \cdot 10^6,$$

$$126 \cdot 10^6 \leq 293 \cdot 10^6.$$

Вывод: в результате аналитического расчета были рассчитаны следующие интересующие нас величины, такие как толщина листов стенки резервуара, проведен расчет днища и крыши. Так же определено кольцевое усилие и возникающее в нем напряжение, после чего сравнили его с допустимым.

8. Расчёт НДС резервуара с использованием программы ANSYS.

Расчеты PBC выполнены в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS.

Расчеты для случая зафиксированных вмятин по ГОСТ Р 52857.11-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости кромок» совпали с точностью 3% с расчетами по МКЭ. Расчетная модель создана на основе геометрической 3D модели.

Максимальные допускаемые напряжения определены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность», ГОСТ Р 52857.11-2007 «Нормы проектирования Стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м³ РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04» (Приложение А, $[\sigma] = 193 \text{ МПа}$, приложение Д $\phi = 0,65$). Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости кромок» (пункт 5.1.1) и составили $\sigma_{\max} \leq 1.5\phi[\sigma] = 1.5 \cdot 0.65 \cdot 193 = 188.17 \text{ МПа}$.

Таблица 5 – входные данные к расчету

Характеристика	Размерность	Значение
Марка стали		09Г2С
Модуль упругости Юнга	ГПа	2.1
Коэффициент Пуассона		0.3
Ускорение свободного падения	м/с ²	9.81
Высота разлива нефтепродукта	м	10.8
Плотность нефтепродукта	кг/м ³	860
Толщина листов днища	мм	8
Толщина листов крыши	мм	6
Толщина листов 1 пояса	мм	13
Толщина листов 2 – 8 поясов	мм	12

Метод конечных элементов (МКЭ) - численный метод решения дифференциальных уравнений деформируемой среды. Сущность МКЭ заключается в том, что в обход дифференциальных уравнений деформируемой среды на основе вариационных принципов механики упругого тела строятся

процедуры поиска численных полей неизвестных функций в деформируемом теле – перемещений, сил, напряжений. [1, 73]

Рассматриваемый выше метод характерен для методов дискретного анализа. Суть метода заключается в том, что деформируемое тело целиком аппроксимируется через разделение ее на конечные элементы. При помощи специально выбранных функций, в каждом элементе показывается поведение среды. Сравнивая с другими численными методами, метод конечных элементов основывается на физической дискретизации исследуемого тела, подвергнутого деформации. Для данных функций необходимо создать такие условия, чтобы во всей среде присутствовала непрерывность описываемых характеристик.

При создании геометрических и численных моделей используемые программные комплексы различны. Так, например при создании геометрической модели, необходимы следующие параметры: выравнивание относительно осей, толщина, материал, параметры нелинейности.

Стоит отметить, что выше сказанные параметры применимы как для оболочечных, так и балочных конструкций. Для получения этих параметров широко используется модуль Static Structural Mechanical, где также имеется возможность задать граничные условия, настроить параметры контактного взаимодействия и создать конечно-элементную сетку.

Для создания численной модели резервуара методом конечных элементов была выбрана реализация в программе ANSYS, которая позволяет решать широкий круг задач в области механики твердого тела. Для решения поставленных задач используется интерактивный (Interactive) режим, который позволяет использовать графический интерфейс платформы Workbench. Решение краевой задачи осуществляется программой ANSYS в три этапа, в соответствии с логикой метода. ка

Этап 1 – называется " препроцессинг где происходит создание конечно-элементной базы объекта. В то же время здесь активно осуществляются следующие процессы:

1) Устанавливается тип конечно элемента, относительно размерности и других свойств объекта, происходит настройка программы.

2) Выбирается тип физической задачи, например, теплопередача, механика твердого (деформируемого) тела, гидродинамика и др. Также задаются и другие характеристики элемента.

3) Контактные пары необходимо задать только в том случае, если мы имеем дело с контактной задачей. Кроме этого, устанавливаются ее характеристики, а также модель непосредственно самого контакта.

4) Для загрузки геометрической модели из графической среды Workbench широко применяется опция DesignModeller

5) На выбор определяющих уравнений метода конечных элементов влияет и те свойства, которые мы задаем, которые в свою очередь отвечают за модель материала, например, билинейный, упругопластичный, линейно-упругий и другие.

6) Необходимые параметры сетки мы задаем непосредственно при разбивке. Также выполняется процедура по разбиению геометрической модели на конечные элементы.

7) Выбираются свойства объекта, которые рассматривались в расчетах; указывается материал объекта. Стоит отметить, что свойства можно набрать, используя клавиатуру или загрузить из базы данных материалов программного обеспечения ANSYS.

После первого этапа следует процедура по приданию модели требуемых граничных и физических условий, а также решение задачи:

- 1) необходимо задать граничные условия
- 2) Защемления, связи (перемещения), силы и другие
- 3) надо выбрать один из двух методов анализа: статический или динамический
- 4) выбрать наиболее предпочтительный метод решения системы уравнений методом конечных элементов
- 5) Указываются необходимые функции вычислительных процедур

6) Число итераций, а также число шагов нагружения

7) Происходит решение системы уравнений, которые мы получили методом конечных элементов, вследствие чего становится доступным файл с результатом. В нем мы можем увидеть вектор, найденных узловых перемещений (степеней свободы).

После второго этапа осуществляется анализ результатов расчета, а также постпроцессинговая обработка. Вычисленные физические величины методом конечных элементов, а именно деформация, перемещение, напряжение, выводятся в виде анимации, графиков, таблиц, картинок. Для этого мы используем графическое окно ANSYS. После осуществления всех выше перечисленных процессов решения задачи, с помощью программного обеспечения ANSYS на локальном диске рабочего компьютера появляется база данных, которая несет в себе всю информацию о рассматриваемой модели. Для того чтобы продолжить исследовать модель, необходимо данную базу данных конвертировать в бинарный файл.

8.1. Создание конечно-элементной модели

Для построения сетки конечных элементов выбирается элемент SHELL181, который имеет ряд особенностей, присущих тонкостенным оболочкам, к которым относится конструкция РВС.

Конечно-элементную сетку мы разбиваем в том случае, если нам необходимо вывести на экран численную модель резервуара. К примеру, сетка для центральной части днища, стенки, окрайки, то есть для оболочечных конструкций создается благодаря оболочечным элементам “surface body”. Сетка на балочных конструкциях, то есть на линейных объектах создается при помощи балочных элементов «beam». Стоит отметить, что абсолютно для всех конструкционных элементов резервуара необходимо указать вид конечно элемента, а также установить функцию формы. Конечно-элементная сетка — это основа для автоматизированного создания матрицы системы уравнений, которая производится прямо на геометрической модели.

На рисунке 19-20 можно увидеть изображения резервуара марки РВС-10000, а также его элементы, которые приведены в виде конечно-элементной модели. При создании этой модели были указаны необходимые настройки в модуле генерации сеток.

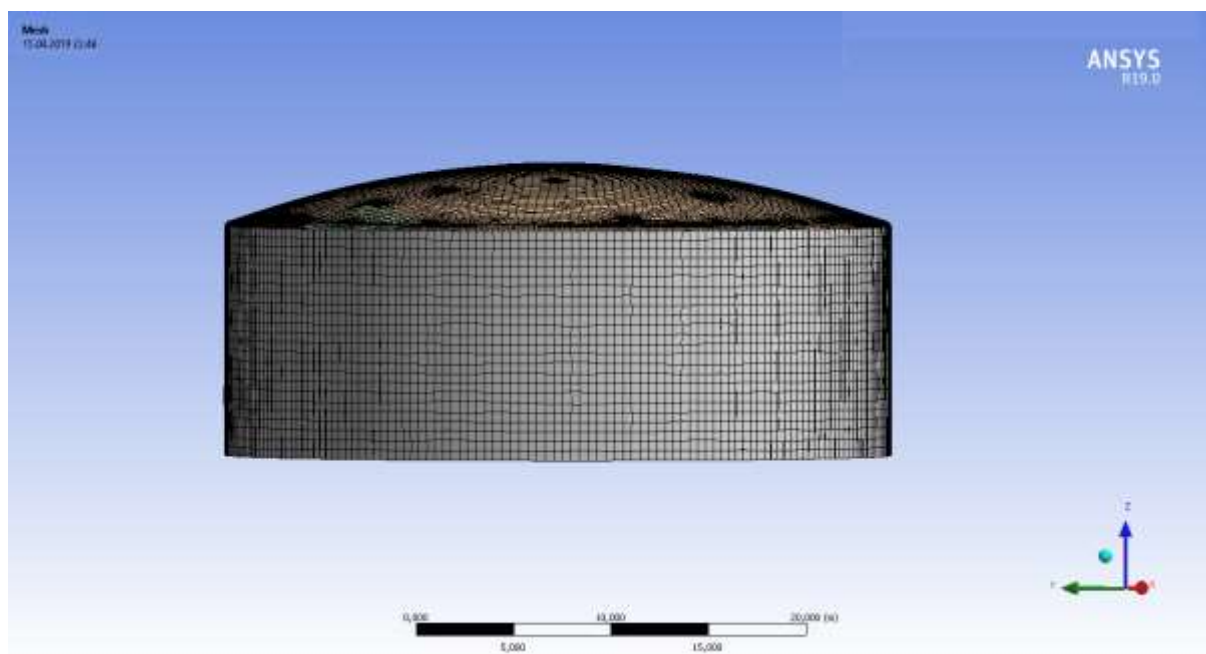


Рисунок 19 Конечно-элементная модель РВС-10000 с разбиением на сетку

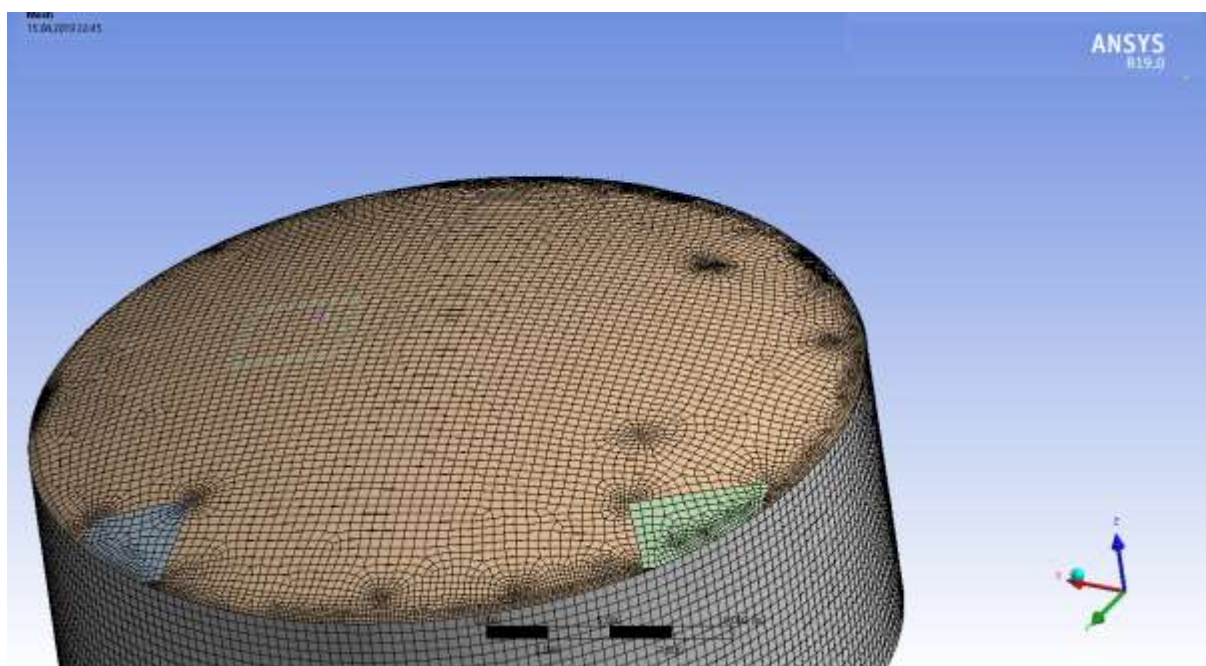


Рисунок 20 Конечно-элементная модель РВС-10000

После построения КЭ-сетки PBC-10000 в модуле Static Structural Mechanical выполнено назначение контактных пар взаимодействия, определение областей и видов контакта для различных элементов PBC.

8.2. Задание граничных условий и контактных пар

Следующим этапом задаем граничные условия при построении конечно-элементной модели PBC-10000. Основным требованием при построении считается достаточность. С помощью достаточности определяем все неизвестные величины с необходимой точностью, после того как запустим расчетный модуль. В магистерской диссертации представлена разработка конечно-элементной модели резервуара, по максимуму показывающей все геометрические несовершенства, а также эксплуатационные и физико-технические несовершенства. Многие исследователи, посвятившие свои работы расчету напряженного-деформированного состояния PBC методом конечных элементов, существенно упрощали свои модели, и как правило это сказывалось на точности расчетов.

Опорой вертикального стального резервуара, служит, как правило, подготовленное естественное основание. Чаще всего это подсыпки на основание резервуара, выполненных из грунтовых и песчаных подушек. С помощью условия «elastic support» закрепим основание резервуара в контакте с грунтовым основанием, т.к. во время эксплуатации резервуар под действием различных эксплуатационных нагрузок давит всем своим весом на основание и фундаментальное кольцо. Коэффициент постели при моделировании вертикального стального резервуара принимался в соответствии району строительства. Для модели, представленной в диссертации коэффициент постели составляет 200МН/м^3 , данный коэффициент характерен для плотного песчаноглинистого грунта.

Мы будем использовать метод Лагранжа для моделирования контактного взаимодействия элементов металлоконструкций резервуара, так как этот метод является основным алгоритмом решения задач с контактами элементов

смешанного типа. Этот метод основан на итеративном представлении метода штрафной функции. Значения контактного давления и напряжения трения увеличиваются в процессе выполнения равновесных итераций до момента, когда окончательное проникновение будет не меньше допуска на проникновение. В этом случае данный метод является наиболее эффективным, так как при создании модели РВС-10000 чаще всего используются контакты "поверхность – поверхность" и "узел – поверхность".

8.3. Нагрузки и воздействия

Конструкция вертикального стального резервуара испытывает сочетание различных видов нагрузок (рис. 21). Масса хранимой жидкости, а именно товарной нефти, является основной нагрузкой, действующей на корпус резервуара $\gamma = 860 \text{ кг/м}^3$. Величина гидростатического давления (гидр.) зависит от высоты заполнения продукта ($H_{\text{взл.}}$) и его удельного веса. Также в расчетах необходимо учитывать вес снежного покрова и вес стационарного оборудования (q), нанесенного на стационарное покрытие. Снеговая нагрузка определяется в соответствии с СП.20.13330.2011 для каждой зоны. Аналогично, значение давления ветра ($q_{\text{ветр.}}$) на стене и крыше РВС согласно таблице ветровых зон в СП.20.13330.2011. В соответствии с РД-23.020.00-КТН-296-07 регулируются значения избыточного и вакуумного давления в газовом пространстве резервуара.

Значения нагрузок, учитываемых в расчетной схеме рассматриваемой модели РВС-10000 для дальнейшей верификации приведены в таблице 6.

Таблица 6

Величины основных нагрузок, учитываемых в модели РВС-10000

№	Параметр		Значение параметра	Единица измерения
1	Ветровое давление		230	Па
2	Снеговая нагрузка		2260	Па
3	Гидростатическая нагрузка	плотность	860	кг/м ³
		высота	11,9	м

4	Избыточное давление	2000	Па
5	Вес стационарного оборудования на кровле	49,05	кН
6	Вес теплоизоляции	0	кН

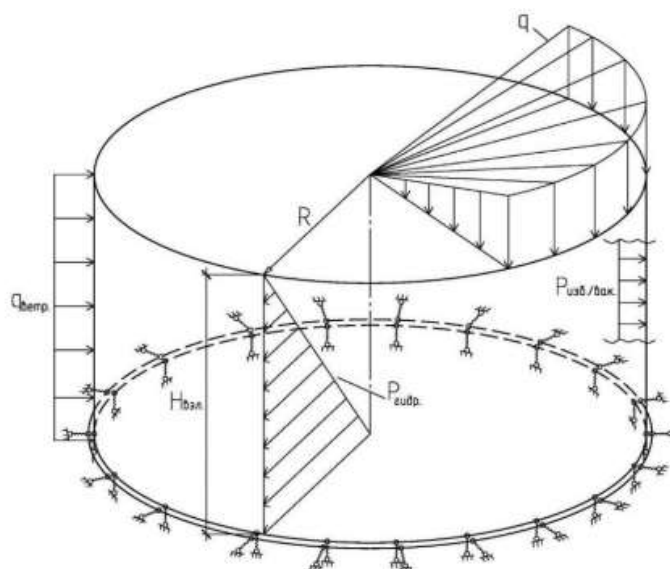


Рисунок 21. Схема нагружения РВС-10000

где R – радиус резервуара, м;

$H_{взл.}$ – высота залива хранимой жидкости, м;

$q_{ветр.}$ – нагрузка от давления ветра, Па;

$P_{гидр.}$ – нагрузка от давления столба жидкости, Па;

$P_{изб./вак.}$ – рабочее значение избыточного давления или вакуума в газовом пространстве РВС, Па;

q – суммарная нагрузка от веса снегового покрова, стационарного оборудования.

В программе ANSYS нагрузки задаются в статическом структурном модуле Static Structural, где назначаются их значения и геометрические области применения.

Для верификации полученной модели в SolidWorks предлагается решить вышеуказанную аналитическую задачу с осесимметричным нагружением в программе ANSYS численным методом. Таким образом, будет проверена адекватность конечно-элементной модели, что позволит использовать ее для

получения достоверных результатов при решении более сложных задач в неосесимметричной постановке. Правомерность такого подхода была показана в работах.

Схема проектирования (рис. 22) включает в себя действие гидростатических, ветровых нагрузок, а также учитывает вес снежного покрова, вес кровли (Таблица 6). В предлагаемой модели принято условие упругого зажима стенки в уторном шве («elastic support»), кровля не зажимается. Сочетание нагрузок - все силы, рассматриваемые в расчетной схеме, применяются одновременно, хотя возможно и дифференцированное применение нагрузок. Материал металлоконструкций-конструкционная сталь, низкоуглеродистая, низколегированная 09Г2С с пределом текучести $\sigma_{тек}=345$ МПа.

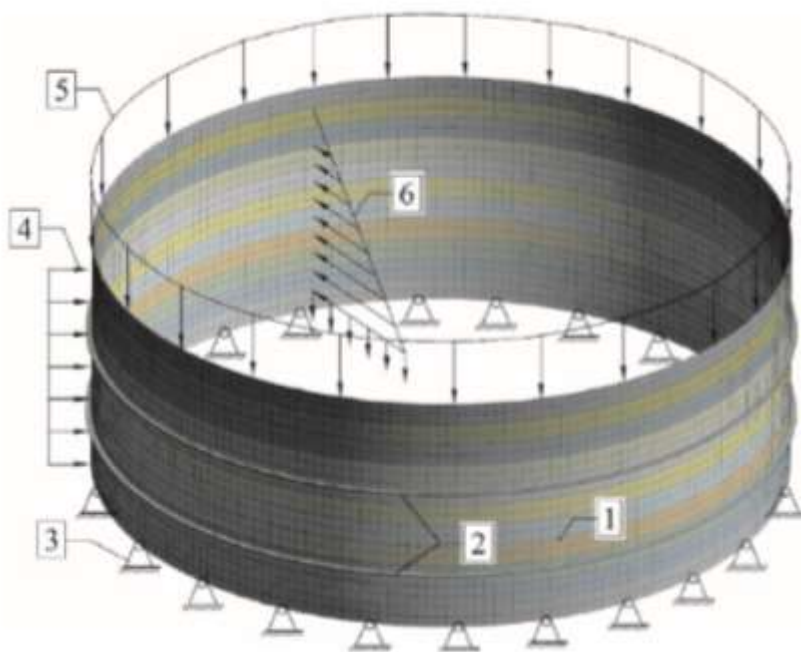


Рисунок 22 – Расчетная схема

1 – стенка РВС-10000, имеющая несовершенства геометрической формы; 2 – кольца жесткости на 3-м и 7-м поясах стенки; 3 – жесткое закрепление нижнего ребра стенки; 4 – ветровая нагрузка; 5 – нагрузка от веса стационарной кровли, установленного оборудования и снегового покрова; 6 – гидростатическая нагрузка

8.4 Результаты численного эксперимента

Рассмотрим более подробно вычисление функции собственной жесткости резервуара как основание вертикальной составляющей с помощью программного комплекса ANSYS для выбранной модели резервуара РВС-10000, в котором анализируем результаты полученных вычислений

Сегодня существует три основных типа жесткости: 1) абсолютно гибкая; 2) абсолютно жесткая; 3) тип предельной жесткости. Рассмотрим эти типы более подробно. К первому типу относятся такие конструкции, которые под воздействием внешних нагрузок следуют за осадками своего основания. Вторая включает деформацию конструкции, которая незначительна в отличие от деформации основания, и такую конструкцию можно считать недеформированной.. Третий тип конечной жесткости возникает, когда деформация конструкции и основания происходят вместе, что приводит к перераспределению действующих напряжений.

Вертикальные стальные резервуары по мнению многих исследователей являются конструкциями с высокой гибкостью, если это так, то деформация стенки и дна совместно происходит с деформацией грунта основания. Кроме того, считается, что все металлические конструкции, а также стенки деформируются на ту же величину, что и осадок основания, и в результате приводит к разрушению, за счет впечатляющих пластических деформаций в металле.

В то же время следует отметить, что жесткость цилиндрической оболочки вращения, а также кромок, колец жесткости, балок и кровельного покрытия мы не учитывали.

Влияние нагрузок, возникающих во время эксплуатации резервуара распределяются как по центральной части днища, так и по железобетонному фундаментному кольцу, так же следует отметить совместную работу различных элементов конструкции вертикального стального резервуара, а именно окрайки, стенок, балочной конструкции, настила кровли и непосредственно само кольцо жесткости. В данной работе задача заключалась в вычислении значения перемещений элементов конструкции резервуара с отклонением от вертикали, а

также в вычислении напряжений, которые возникают во время эксплуатации резервуара.

В экспериментальном исследовании собственной жесткости поочередно выполняются расчеты НДС резервуара. К резервуару прикладываются нагрузки от веса стационарного оборудования, снега; резервуар упруго закреплен по нижним плоскостям центральной части днища и фундаментного кольца.

На рисунках 23, 24, изображена картина напряжений по критерию мизеса. Максимальные напряжения по картине составляют 135 МПа. Допустимые напряжения 188,17.

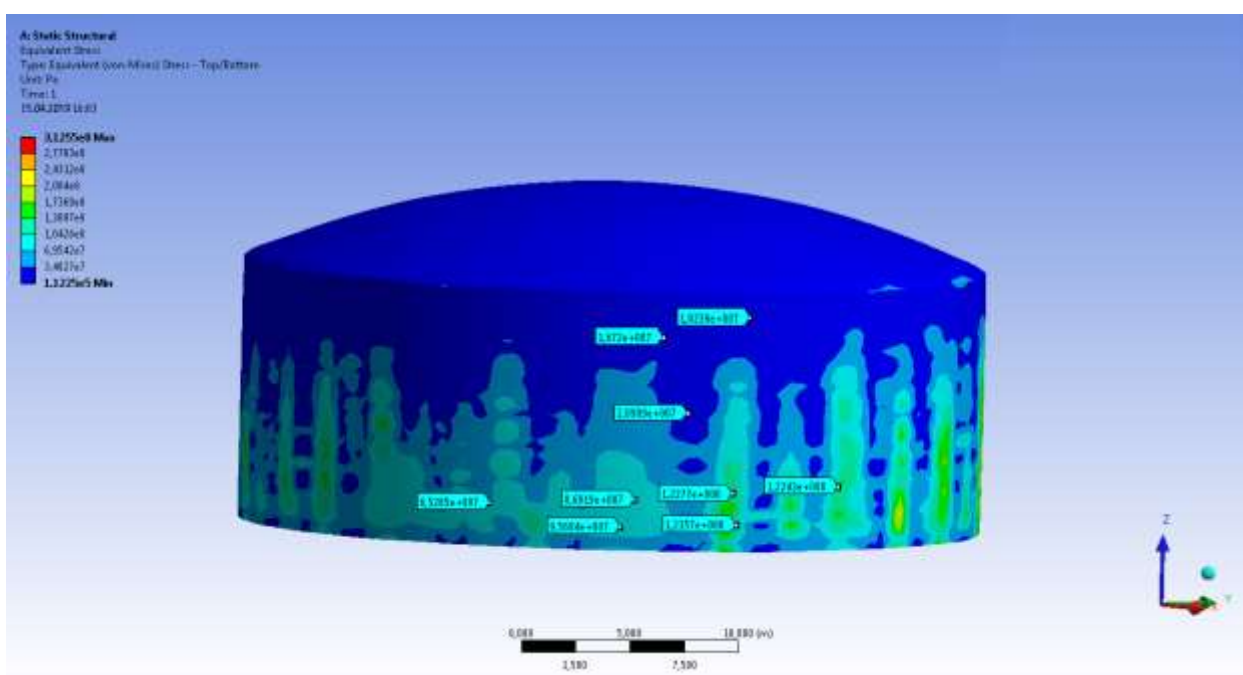


Рисунок 23 – Картина полей напряжений по критерию Мизеса

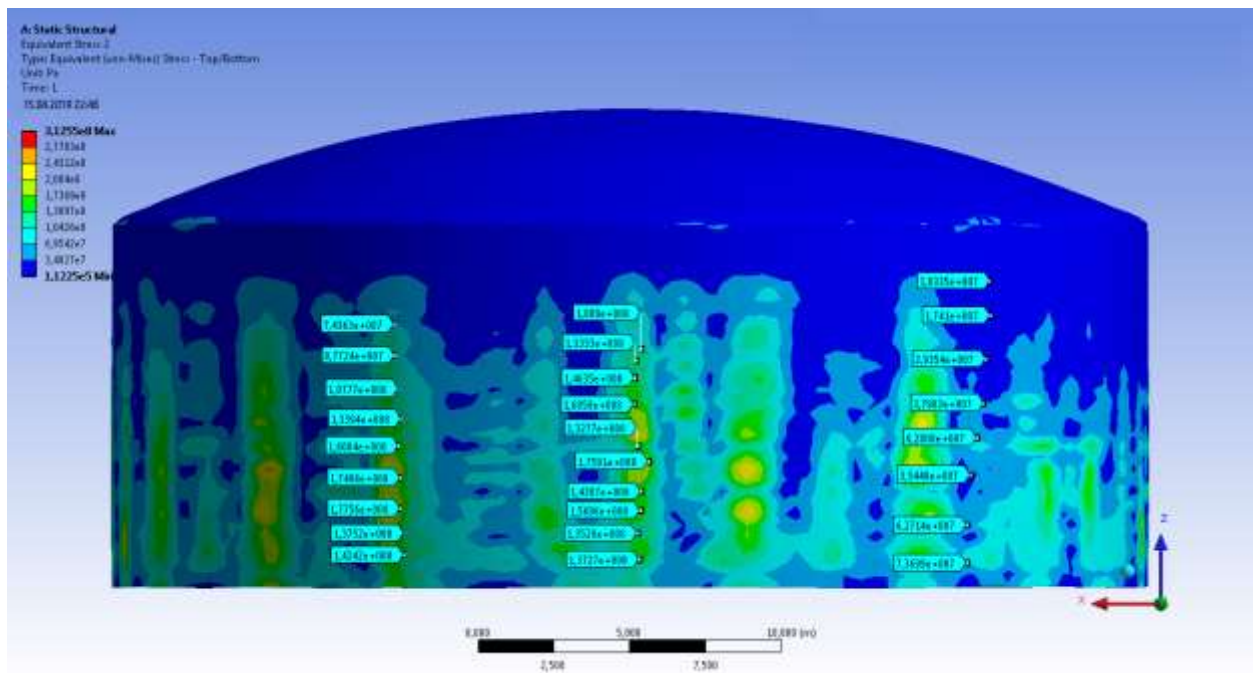


Рисунок 24 – Картина полей напряжения по критерию Мизеса

На рисунках 25 – 26 представлена картина распределения общих перемещений в листах РВС. Из расчета видно, что величина общих перемещений не превышает 29 мм

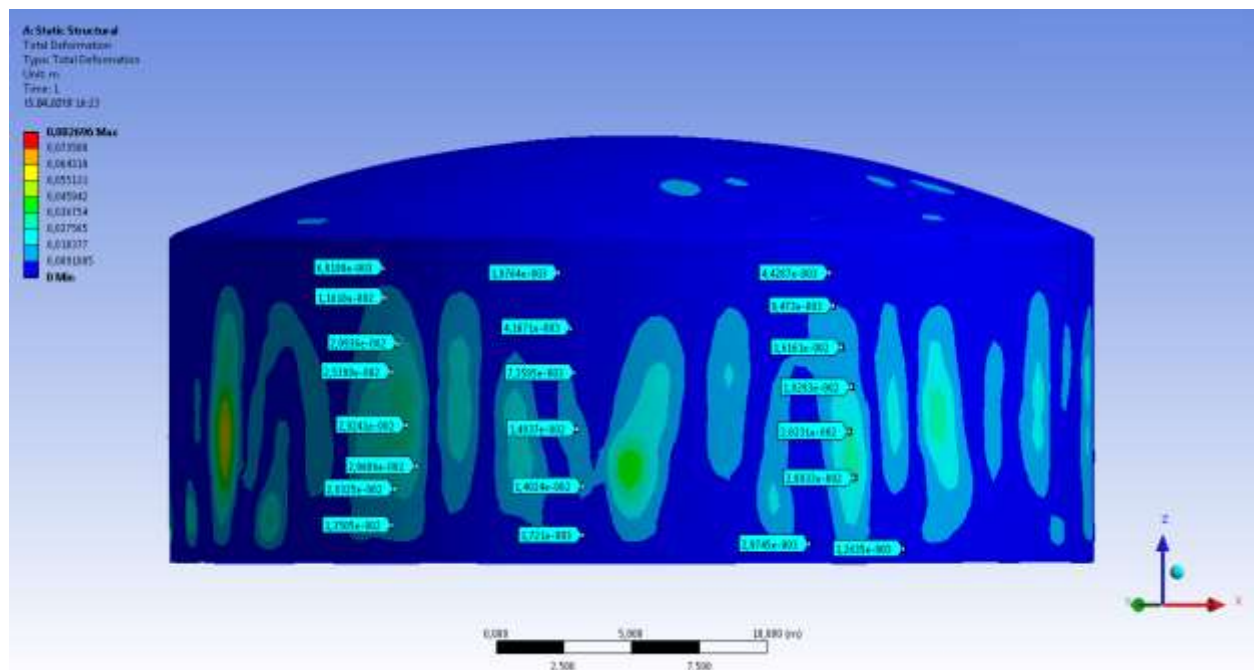


Рисунок 25 – Картина полей общих перемещений

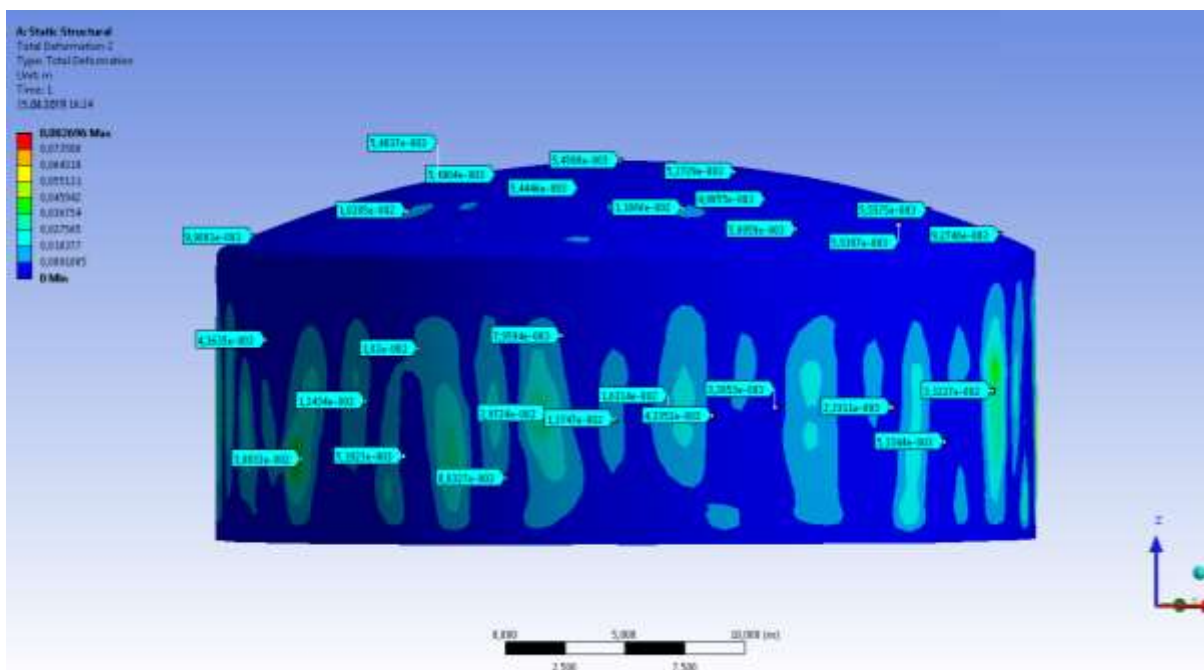


Рисунок 26 – Картина полей общих перемещений

В результате расчета необходимо получить значения перемещений листов поясов и их картину их напряжений в радиальном направлении. Для этого в решении была введена дополнительная цилиндрическая система координат. На рисунках 27 – 28 приведены графические результаты данных расчетов. Перемещение листов поясов в радиальном направлении не превышают 3 мм. Значения напряжений составляют порядка 90 МПа.

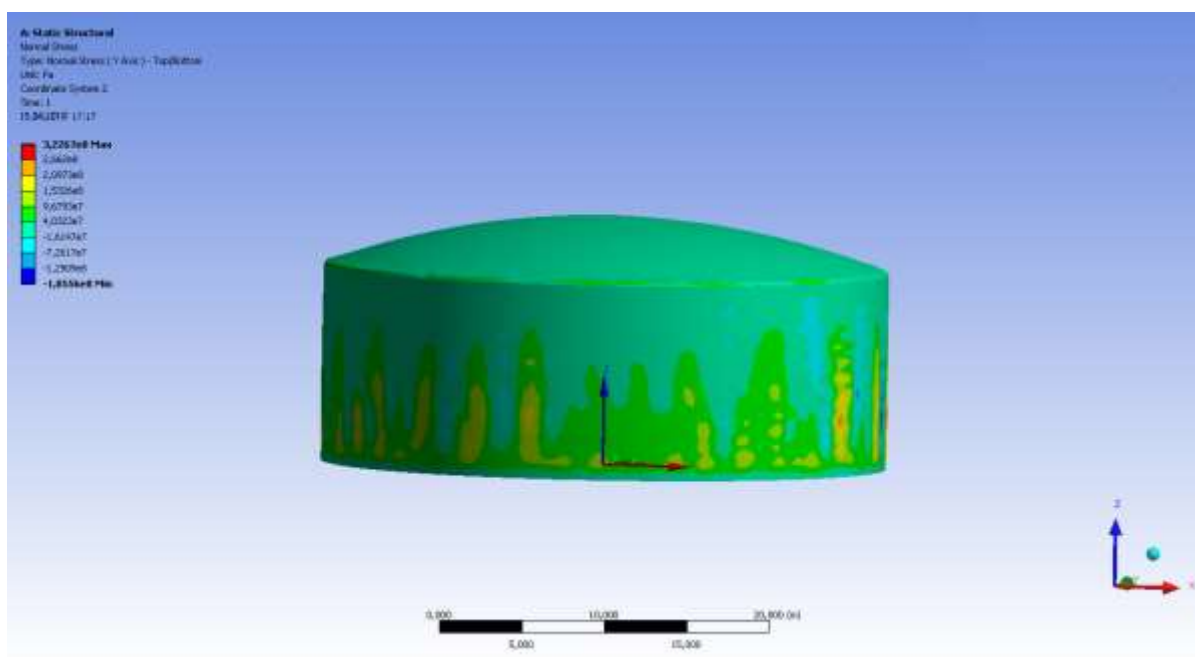


Рисунок 27 – Картина полей перемещений в радиальном направлении.

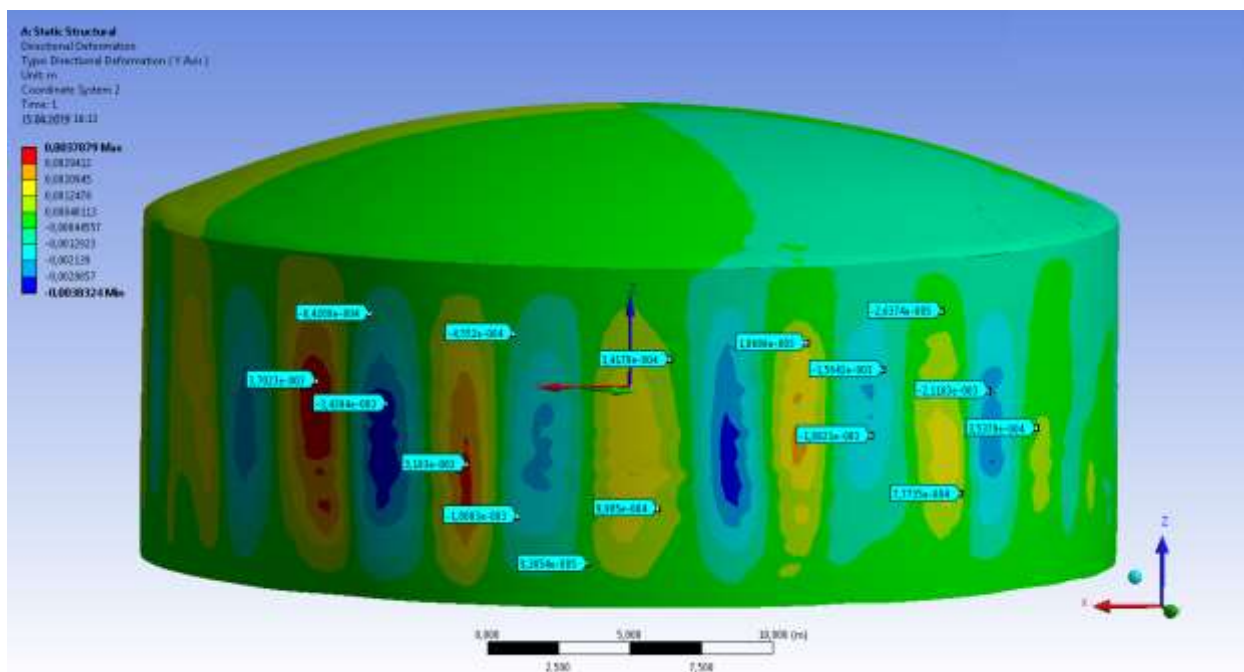


Рисунок 28 – Картина полей перемещений в радиальном направлении.

На рисунках 29 и 30 представлены поля распределения напряжений по критерию прочности Мизеса. Эквивалентное напряжение по Мизесу, также известное как напряжение формоизменения, выражается как:

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{13}^2)}{2}},$$

где $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$ – нормальные напряжения вдоль осей x, y, z соответственно, $\tau_{13}, \tau_{12}, \tau_{23}$ – касательные напряжения.

Согласно критерию прочности пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. В большинстве случаев предел текучести используется в качестве предельного напряжения. Величина деформаций согласно расчету в пределах 2%.

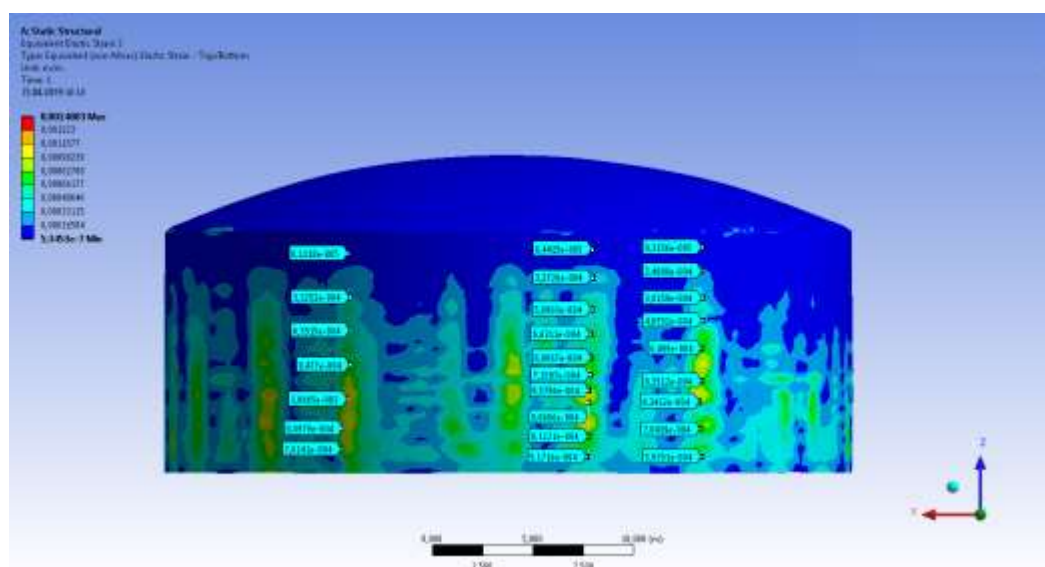


Рисунок 29 – Картина полей деформаций по критерию Мизеса

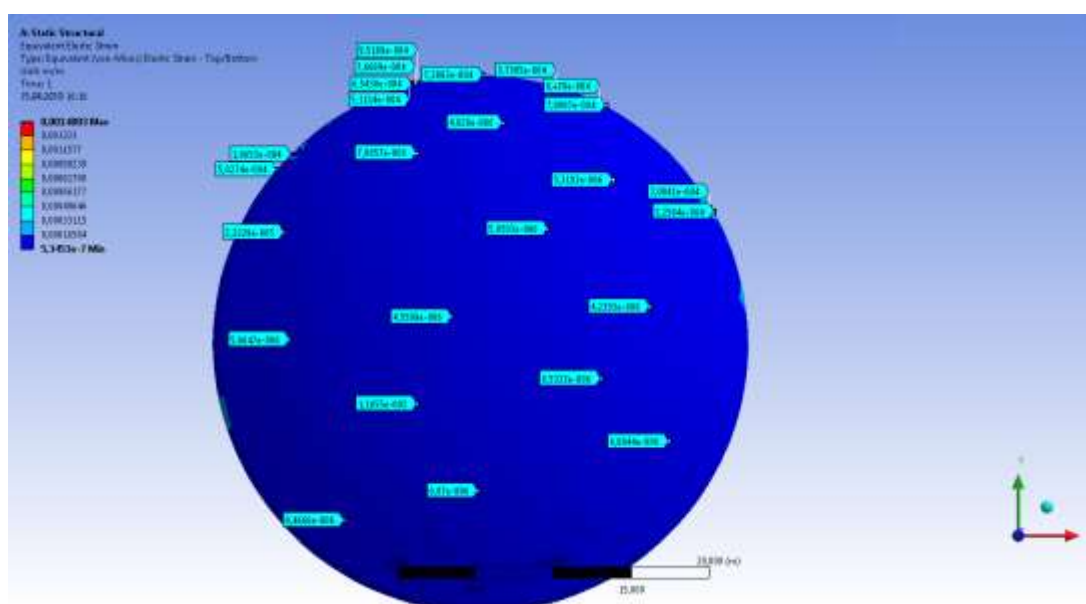


Рисунок 30 – Картина полей деформаций по критерию Мизеса.

Анализируя напряженно-деформированное состояние стенки резервуара с учетом несовершенств геометрии оболочки, установлено, что напряжения, действующие в металлоконструкциях резервуара, не превышают критических значений, установленных нормативно-техническими документами. Из этого делаем вывод, что резервуар пригоден к дальнейшей эксплуатации. Результаты: максимальные напряжения не превышают 135 МПа, допустимые 188,17 МПа.

9 Социальная ответственность

Магистерская диссертация посвящена исследованию резервуара вертикального стального 10000 м³. В данном разделе рассматривается возможное влияние используемого оборудования, сырья, энергии, продукции и условий работы на человека и окружающую среду; техника безопасности при работе с оборудованием и действия при чрезвычайных ситуациях.

9.1.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В связи со спецификой деятельности работникам резервуарного парка приходится работать на значительном удалении от места нахождения своей компании. Вахтовая работа в силу существенных отличий от «обычной» трудовой деятельности работника регулируется отдельным законодательством.

Особенностям регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом, посвящена глава 47 ТК РФ.

Понятие вахтового метода приведено в ст.297 ТК РФ, а основные положения о вахтовом методе организации работ утверждены Постановлением Госкомтруда СССР, Секретариата ВЦСПС и Минздрава СССР от 31.12.1987 г. №794/33-82 (далее по тексту – Положение о вахте) и действуют в части, не противоречащей ТК РФ (ст.423 ТК РФ). Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха (ст.299 ТК РФ).

Вахтовый метод представляет собой особую форму осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работников, когда не может быть обеспечено ежедневное их возвращение к месту постоянного проживания.

Вахтовый метод применяется при значительном удалении места работы от места постоянного проживания работников или места нахождения работодателя в целях сокращения сроков строительства, ремонта или реконструкции объектов производственного, социального и иного назначения в необжитых, отдаленных районах или районах с особыми природными условиями, а также в целях осуществления другой производственной деятельности.

Работники, привлекаемые к работам вахтовым методом, в период нахождения на объекте производства работ проживают в специально создаваемых работодателем вахтовых поселках, представляющих собой комплекс зданий и сооружений, предназначенных для обеспечения жизнедеятельности указанных работников во время выполнения ими работ и междусменного отдыха, либо в приспособленных для этих целей и оплачиваемых за счет работодателя общественных, иных жилых помещениях.

К работам, выполняемым вахтовым методом, не могут привлекаться работники в возрасте до восемнадцати лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания к выполнению работ вахтовым методом. Эти ограничения оговорены в ст. 298 Трудового кодекса РФ.

Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха.

Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах работодателем с учетом мнения выборного профсоюзного органа данной организации продолжительность вахты может быть увеличена до трех месяцев (ст. 299 ТК РФ).

При вахтовом методе работы устанавливается суммированный учет рабочего времени за месяц, квартал или иной более длительный период, но не более чем за один год.

Учетный период охватывает всё рабочее время, время в пути от места нахождения работодателя или от пункта сбора до места выполнения работы и обратно, а также время отдыха, приходящееся на данный календарный отрезок времени.

Работодатель обязан вести учет рабочего времени и времени отдыха каждого работника, работающего вахтовым методом, по месяцам и за весь учетный период (ст. 300 ТК РФ).

Рабочее время и время отдыха в пределах учетного периода регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается

работодателем с учетом мнения выборного профсоюзного органа данной организации и доводится до сведения работников не позднее, чем за два месяца до введения его в действие.

В указанном графике предусматривается время, необходимое для доставки работников на вахту и обратно. Дни нахождения в пути к месту работы и обратно в рабочее время не включаются и могут приходиться на дни междувахтового отдыха.

Часы переработки рабочего времени в пределах графика работы на вахте, не кратные целому рабочему дню, могут накапливаться в течение календарного года и суммироваться до целых дней с последующим предоставлением дополнительных дней отдыха.

Работникам, выполняющим работы вахтовым методом, за каждый календарный день пребывания в местах производства работ в период вахты, а также за фактические дни нахождения в пути от места нахождения работодателя (пункта сбора) до места выполнения работы и обратно выплачивается взамен суточных надбавка за вахтовый метод работы в размерах, определяемых в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Работникам, выезжающим для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов, устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях.

Предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих:

- в районах Крайнего Севера – 24 календарных дня;
- в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, – 16 календарных дней.

В стаж работы, дающий право на получение льгот и компенсаций, включаются календарные дни работы в районах Крайнего Севера и приравненных

к ним местностях и фактические дни нахождения в пути, предусмотренные графиками сменности, и ряд других льгот.

Основной профессией, обслуживающей резервуарные парки, является оператор товарный. В обязанности оператора входит управление технологическим процессом с пульта управления из помещений операторных, что составляет 50% времени рабочей смены, визуальное наблюдение за работой оборудования насосных и транспортных коммуникаций, обход резервуарного парка – 44% рабочего времени. Кроме того, операторы обеспечивают предварительную подготовку оборудования к капитальному ремонту. 6% времени рабочие занимаются личными делами. Размер оклада будет зависеть от сезона года и климатогеографических особенностей региона, так же оклад зависит от разряда оператора. Уровень зарплаты варьируется от 55000 тысяч до 90000 тысяч рублей.

Вместе с тем отдельные нормативные акты содержат положения о размере доплат за работу во вредных условиях труда. Так, постановлением Министерства труда РФ от 25 апреля 1995 года N 25 рекомендовано при оплате труда работников организации внебюджетной сферы экономики тарифные ставки (оклады) на работах с тяжелыми и вредными условиями труда увеличивать по сравнению с тарифными ставками (окладами) для аналогичных работ с нормальными условиями труда на 12%, а на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда — на 24%.

Компенсационные выплаты, связанные с режимом работы с условиями труда — выплаты, установленные в соответствии с инструкцией Госкомстата РФ "О составе фонда заработной платы и выплат социального характера" от 10 июля 1995 г. № 89 включают выплаты, связанные с районным регулированием заработной платы, доплаты за работу во вредных и опасных условиях труда и на тяжелых работах, оплату работы в выходные и праздничные дни, оплату сверхурочной работы, оплату работникам за дни отдыха (отгулы), предоставленные в связи с работой сверх нормальной продолжительности рабочего времени в случаях установленных законодательством, выплату разницы

при временном замеществе, компенсации за неиспользованный отпуск, оплату льготных часов подростков и т.д.

В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют следующие правовые, нормативные акты, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы:

- Закон об основах охраны труда в РФ №181-ФЗ от 17.07.1999 г (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).
- Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов 116-ФЗ от 21.07.1997 г. с изменениями от 7.08.2000 г.
- Трудовой кодекс №197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.04.2014)
- Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03
- Инструкции по технике безопасности предприятия.
- Порядок разработки деклараций безопасности промышленного объекта РФ. МЧС, Госгортехнадзор №222/59 от 4.04.1996 г.
- ГОСТ 12.0001-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда»
- Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СНиП .21/2.11.567-96 от 31.10.1996 г.
- Закон о пожарной безопасности №69-ФЗ, принят 21.12.1994 г (с дополнениями и изменениями от 22.08.1995 г, от 18.04.1996г, от 2.01.1998 г, от 11.2000 г. от 27.12.2000 г.) - Пожарная охрана предприятий. Общие требования. НБТ - 201-96, утв. 01.03.1992г.
- Правила пожарной безопасности РФ ППБ-01-93. МВД РФ 14.12.1993 г., дополнения к ним от 25.07.1995г.

9.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Компоновка резервуарного парка, расстояния между стенками резервуаров, вместимость групп резервуаров и расстояния между группами должны соответствовать требованиям СНиП 2.11.03-93.

По периметру резервуара или каждой группы резервуаров необходимо предусматривать замкнутое обвалование, шириной по верху не менее 0,5 м, рассчитанными на гидростатическое давление разбившейся жидкости. Технические параметры по устройству обвалования должны соответствовать СНиП 2.11.03-93, исходя из объема резервуара по строительному номиналу;

Для освещения резервуарных парков следует применять прожекторы, установленные на мачтах, расположенных за пределами внешнего обвалования и оборудованных помостками и лестницами для обслуживания.

Для местного освещения следует применять аккумуляторные фонари напряжением не более 12 В во взрывобезопасном исполнении, включение и выключение которых должно проводиться вне обвалования.

9.2 Профессиональная социальная безопасность

Таблица 7

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышение уровня общей вибрации			+	СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
Повышение уровня шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

9.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Рассмотрим вредные производственные факторы, которые действуют или могут воздействовать на организм человека при обслуживании резервуарного парка, а также рассмотрим нормативные значения этих факторов и мероприятия, направленные на снижение или устранение этих факторов

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны:

В настоящее время для оценки допустимости проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях крайнего севера (а также районах приравненных к районам крайнего Севера) используется понятие предельной жесткости погоды (эквивалентная температура, численно равная сумме отрицательной температуре воздуха в градусах Цельсия и удвоенной скорости ветра в м/с), устанавливаемая для каждого района решением местных региональных органов управления.

Предельная жесткость погоды, ниже которой не могут выполняться работы на открытом воздухе, колеблется в пределах от -40 до -45 °С.

При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам, ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживать температуру около +25 °С .

Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева.

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

В рабочих зонах помещения и площадки обслуживания температура воздуха различна в теплый и холодный периоды года.

Интенсивность теплового облучения от работающих агрегатов и от нагретых поверхностей не должна превышать 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м² при облучении 25-50% поверхности тела и 100 Вт/м² при облучении менее 25%. Максимальная температура при этом 28°C (301 К).

Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели и кондиционеры.

Профилактика перегрева работников осуществляется организацией рационального режима труда и отдыха путем сокращения рабочего времени для введения перерывов для отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

Превышение уровней шума.

Допустимый уровень шума составляет 80 дБА. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБА.

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- совершенствование технологии ремонта и своевременное обслуживание оборудования;
- использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи); средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

В качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки-вкладыши (многократного или однократного пользования, вкладыши "Беруши" и др.), заглушающая способность которых составляет 6-8 дБА. В случаях более высокого превышения уровней шума следует использовать наушники, надеваемые на ушную раковину. Наушники могут быть независимыми либо встроенными в головной убор или в другое защитное устройство.

Превышение уровней вибрации

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Для первой категории общей вибрации, по санитарным нормам скорректированное по частоте значение виброускорения составляет 62 дБ, а для виброскорости – 116дБ. Наиболее опасной для человека является вибрация с частотой 6-9 Гц.

Вибробезопасные условия труда должны быть обеспечены:

- применением вибробезопасного оборудования и инструмента; применением средств виброзащиты, снижающих воздействие на работающих вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения;
- организационно-техническими мероприятиями (поддержание в условиях эксплуатации технического состояния машин и механизмов на уровне, предусмотренном НТД на них; введение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на работающих; вывод работников из мест с превышением ДУ по вибрации).

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Для резервуарных парков и участков работ необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света, за исключением автодорог. При подъеме или перемещении грузов должна быть освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны

Контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м³, для природного газа ПДК 300 мг/м³.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

При работе с вредными веществами 1-, 2-, 3-го классов опасности (ртуть, одорант, сероводород, метанол, диэтиленгликоль и т.д.) должно быть обеспечено регулярное обезвреживание и дезодорирование СИЗ.

Уменьшение неблагоприятного воздействия запыленности и загазованности воздуха достигается за счет регулярной вентиляции рабочей зоны.

9.2.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека.

Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование работающее под высоким давлением обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования, работающего под давлением, распространяются:

работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;

на баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;

на цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;

на цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически.

Основным требованием к конструкции оборудования работающего под высоким давлением является надежность обеспечения безопасности при и возможности осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов. Сварные швы делаются только стыковыми.

Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды.

Пожаровзрывобезопасность на рабочем месте

При обеспечении пожарной безопасности ремонтных работ следует руководствоваться 09-364-00 «Типовая инструкция по организации безопасного проведения огневых работ на взрывоопасных взрывопожароопасных объектах»; и другими утвержденными в установленном порядке региональными СНиП, НД, регламентирующими требования пожарной безопасности.

Места проведения ремонтных работ должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения:

Все работники должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, а при изменении специфики работы проходить дополнительное обучение по предупреждению и тушению возможных пожаров в порядке установленном руководителем.

Вся передвижная техника в охранной зоне МГ должна быть обеспечена искрогасителями заводского изготовления.

Самоходная техника, сварочные агрегаты, компрессоры, задействованные в производстве подготовительных и огневых работ, должны быть обеспечены не менее чем двумя огнетушителями ОУ-10, ОП-10 (каждая единица техники).

В помещениях на видных местах должны быть вывешены таблички с указанием порядка вызова пожарной охраны.

Приказом должен быть установлен соответствующий противопожарный режим, в том числе:

- определены места и допустимое количество единовременно находящихся в помещениях материалов;

- установлен порядок уборки горючих отходов, хранения промасленной спецодежды;

- определен порядок обесточивания электрооборудования в случае пожара и окончании рабочего дня;

- регламентированы: порядок проведения временных огневых и других пожароопасных работ, порядок осмотра и закрытия помещений после окончания работы, действия работников при обнаружении пожара;

- определен порядок и сроки прохождения противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму, а также назначены ответственные за их проведение.

Руководитель работ по ремонту газопровода должен совместно с работниками пожарной охраны определить места установки противопожарного оборудования и обеспечить необходимым противопожарным инвентарем.

Горючие отходы, мусор и т.д. следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить.

Применение в процессах производства материалов и веществ с неустановленными показателями их пожаро-взрывоопасности или не имеющих сертификатов, а также их хранение совместно с другими материалами и веществами не допускается.

Объект необходимо обеспечить прямой связью с ближайшим подразделением пожарной охраны или оператором КС.

При работе категорически запрещается курить на рабочем месте. На рабочих местах должны быть вывешены предупредительные надписи: “Не курить”, “Огнеопасно”, “Взрывоопасно”.

В случае возникновения пожара использовать пенные, порошковые, углекислотные огнетушители или приспособления для распыления воды.

9.3 Экологическая безопасность

При технической эксплуатации резервуара типа РВС 10000 м³ необходимо соблюдать требования по защите окружающей среды, условия землепользования, установленные законодательством по охране природы.

Перед началом производства работ следует выполнить следующие работы:

- оформить в природоохранных органах все разрешения, согласования и лицензии, необходимые для производства работ по данному объекту;
- заключить договора со специализированными организациями на сдачу отходов, грунта, сточных вод образующихся в процессе производства работ;
- оборудовать места временного размещения отходов в соответствии с нормативными требованиями.

При организации ремонта необходимо осуществлять мероприятия и работы по охране окружающей среды, которые должны включать предотвращение потерь природных ресурсов, предотвращение попадания загрязняющих веществ в почву, водоемы и атмосферу.

Виды воздействий на природную среду в период эксплуатации резервуара:

- Загрязнение выбросами выхлопных газов от строительной техники при производстве работ;
- Выбросы при опорожнении и заполнении резервуаров;
- Образование и размещение отходов, образующихся при технологической эксплуатации.

Перед началом работ необходимо обеспечить наличие отвода земельного участка. С целью уменьшения воздействия на окружающую среду все работы должны выполняться в пределах полосы отвода земли.

Для снижения воздействия на поверхность земель предусмотрены следующие мероприятия:

- минимально необходимые размеры котлована;
- своевременная уборка мусора и отходов для исключения загрязнения территории отходами производства;
- запрещение использования неисправных, пожароопасных транспортных и строительно-монтажных средств;
- применение строительных материалов, имеющих сертификат качества;
- выполнение работ, связанных с повышенной пожароопасностью, специалистами соответствующей квалификации.

Загрязнение атмосферного воздуха в период эксплуатации за счет неорганизованных выбросов и является кратковременным. К загрязняющим веществам относятся продукты неполного сгорания топлива в двигателях строительных машин и механизмов, вещества, выделяющиеся при сварке труб, выполнении изоляционных работ.

Мероприятия направленные на защиту атмосферного воздуха в зоне производства работ:

- осуществлять периодический контроль за содержанием загрязняющих веществ в выхлопных газах;
- для уменьшения выбросов от автотранспорта необходимо в период ремонтных работ обеспечить контроль топливной системы механизмов и системы регулировки подачи топлива, обеспечивающих полное его сгорание;
- допускать к эксплуатации машины и механизмы в исправном состоянии, особенно тщательно следить за состоянием технических средств, способных вызывать загорание естественной растительности.

Загрязнение атмосферы в период производства работ носит временный обратимый характер.

Производственные и бытовые стоки, образующиеся на строительной площадке, должны очищаться и обезвреживаться в порядке, предусмотренном проектом организации строительства и проектами производства работ.

Сельскохозяйственные и лесные угодья должны быть возвращены в состояние, пригодное для использования по назначению и сданы землепользователю.

9.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

9.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Чрезвычайные ситуации в резервуарных парках хранения нефтепродуктов приводят к большим материальным и человеческим потерям.

ЧС которые могут возникнуть в резервуарном парке, это ЧС техногенного характера и экологического.

В соответствии с Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» под предупреждением чрезвычайных ситуаций понимается комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Согласно данному определению, предупреждение ЧС направленно на решение следующих задач:

- предотвращение возникновения ЧС на объектах экономики;
- снижение тяжести их последствий в случае возникновения.

Комплекс мероприятий по предупреждению ЧС в резервуарных парках хранения нефтепродуктов включает в себя:

- образование федеральной системы комплексного мониторинга, контроля,

надзора, прогнозирования и предупреждения ЧС;

- реализацию целевых и научно-технических федеральных программ по проблемам безопасности;

- развитие системы декларирования безопасности объектов экономики, их паспортизации и лицензирования деятельности с учетом безопасности процессов производства.

Мероприятия по предупреждению ЧС техногенного характера разрабатываются территориальными, ведомственными и функциональными органами управления и должны обеспечивать функционирование соответствующих звеньев экономики при заданном уровне безопасности для производственного персонала, населения, объекта экономики и окружающей природной среды. Мероприятия по предупреждению ЧС разрабатываются и осуществляются с учетом прогнозов аварий, возникающих на объектах экономики и их ожидаемых последствий. Характер, объем, и сроки проведения мероприятий зависят от степени опасности источников ЧС для населения, окружающей природной среды и возможного экономического ущерба в случае возникновения ЧС, а также от значения объектов для жизнеобеспечения населения в условиях ЧС и результатов предшествующей работы по предупреждению ЧС.

9.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Одним из способов предупреждения возникновения ЧС, повышения эффективности защиты населения и территорий и снижения возможных последствий ЧС в резервуарных парках хранения нефтепродуктов является проведение превентивных мероприятий. С целью снижения вероятности и ущерба от пожара пролива, при разгерметизации резервуаров, расставлены аварийные задвижки непосредственно возле каждого резервуара и в насосной, и установлена система аварийного отключения перекачки продуктов. В зданиях имеется пожарная сигнализация. К организационным превентивным мерам можно отнести: проведение периодической дефектоскопии внутри объектового трубопровода и резервуаров; поддержание в готовности нештатного аварийно-

спасательного формирования на объекте с проведением учебно-тренировочных занятий и учений с персоналом объекта. Основным мероприятием защиты населения и персонала, не участвующего в ликвидации ЧС, считается эвакуация и создание условий для наиболее быстрой эвакуации людей из зоны ЧС. Это достигается использованием систем предполагающих идентификацию факта аварии, систем оповещения, систем дымоудаления. Мероприятия прогнозирования и мониторинга окружающей среды направлены на идентификацию разливов нефтепродуктов, пожаров, взрывов и их прогнозирование с целью предупреждения формирований и персонал о возможных масштабах ЧС. При непосредственной ликвидации ЧС защита формирований представлена комплексом мероприятий основанных на использовании средств индивидуальной защиты, соблюдения всех правил безопасности, с учетом специфики проводимых работ. Для повышения безопасности предприятия предлагается проведения комплекса заблаговременных мероприятий, который включает: применение стационарных лафетных установок, применение системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений, молниезащита резервуарного парка хранения нефтепродуктов, мероприятия по повышению огнестойкости зданий и сооружений, проведение организационных превентивных мероприятий. Теплозащитные экраны применяются для локализации лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способности.

При ликвидации последствий ЧС техногенного характера осуществляют следующие мероприятия:

- поиск пострадавших;
- определение масштабов, степени и характера повреждений зданий и сооружений;

- определение мест аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях, угрожающих жизни пострадавших и затрудняющих проведение спасательных работ;
- отключение поврежденных участков магистральных и разводных коммунально-энергетических и технологических сетей;
- расчистка магистральных маршрутов движения;
- расчистка подъездных путей к объекту ведения работ;
- расчистка площадок для расстановки техники на объекте ведения работ;
- обрушение (укрепление) строительных конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом или затрудняющих проведение спасательных работ;
- фиксация завалов от смещения;
- высвобождение пострадавших (погибших) из-под завалов;
- оказание пострадавшим первой медицинской помощи и врачебной помощи на месте;
- эвакуация пострадавших в стационарные лечебные учреждения;
- оборудование мест для свалки строительного мусора;
- регистрация погибших (или их захоронение).

Предприятия нефтяной промышленности представляют собой, наиболее сложные в инженерном отношении объекты. Они подвержены большому числу рисков и сами представляют собой потенциальную угрозу персоналу, населению и окружающей среде. Для принятия обоснованных инженерных и управленческих решений по защите людей и материальных ценностей необходимо разбираться в процессах формирования поражающих факторов, знать характеристики опасных веществ и источников, уметь прогнозировать масштабы и последствия чрезвычайных ситуаций.

При хранении значительных объемов прожаровзрывоопасных продуктов и высоком давлении на предприятиях нефтяной промышленности необходимо обеспечивать надежность и предупреждение аварий, способных приводить к ЧС,

что возможно достичь путем внедрения новых инженернотехнических устройств, методов и способов ведения работ. Стратегическими направлениями повышения уровня безопасности, являются реконструкция и техническое перевооружение на основе современных достижений науки и техники; создание механизмов стимулирования и контроль реализации программ реконструкции и развития; создание барьеров на пути реализации политики экстенсивной эксплуатации производств, вывод из эксплуатации неперспективных производств.

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В настоящее время, более 70% эксплуатирующего оборудования в России выработало свой ресурс (срок эксплуатации 30-35 лет). Известно, что аварии и отказы происходят в начальный период эксплуатации из-за дефектов монтажа, затем следует период безаварийной работы, а после 15-20 лет эксплуатации количество отказов, аварийных ситуаций резко возрастает, вследствие накопления повреждений, возникших при эксплуатации. Одним из наиболее опасных объектов были и остаются различные виды резервуаров. В системе трубопроводного транспорта, например, более 3000 РВС находятся в эксплуатации более 50 лет, свыше 1000 РВС - от 40 до 50 лет. Экономически выгодная эксплуатация резервуара не может быть обеспечена без должного наблюдения за техническим состоянием и своевременным устранением неполадок. Нарушение прочности и герметичности в резервуарах в большинстве случаев вызывается совокупностью различных неблагоприятных воздействий на конструкции. Элементы резервуара в эксплуатационных условиях испытывают значительные быстроменяющиеся температурные режимы, повышение давления, вакуум, вибрацию, неравномерные осадки и коррозию. Практически каждый из резервуаров представляет собой объект повышенной опасности для персонала предприятия, населения, соседних сооружений и окружающей среды. Также можно отметить, что резервуары, как и любой технический объект, имеют свой ресурс и каждое предприятие стремится повысить экономическую эффективность производства товаров или услуги с наименьшими издержками, что означает отсутствие потерь в использовании ресурсов.

10.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт: Резервуар вертикальный стальной 10000 м³

Целевой рынок: нефтяные и газовые компании.

Таблица 8

		Вид исследования пускового устройства		
		Расчет РВС	3D модель и анализ работы РВС	Конструирование РВС
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 - «Роснефть»  - «Сургутнефтегаз»  - «Транснефть»

В различных исследованиях резервуар вертикальный стальной необходим в основном крупным компаниям, так как данный резервуар прост в сборке и обслуживании. Крупным компаниям важна простота и долговечность. Для каждого резервуарного парка используют оборудование с разными техническими характеристиками.

3D модель имеет не мало важную роль для конструирования РВС, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа Ansys, можно смоделировать отклонение от вертикали и посмотреть, как он будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, учитываются все просчеты.

10.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для

ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 9 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{к1}	Б _б	К _ф	К _{к1}	К _б
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок службы	0,13	3	2	2	0,39	0,26	0,26
2. Ремонтопригодность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Надежность	0,12	3	3	3	0,36	0,36	0,36
4. Простота ремонта	0,1	3	2	1	0,3	0,2	0,1
5. Удобство в эксплуатации	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
6. Уровень шума	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	2	0,12	0,09	0,06
2. Уровень проникновения на рынок	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
3. Цена	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
6. Наличие финансирования поставщиками оборудования	0,02	2	3	2	0,04	0,06	0,04
Итого	1	43	33	32	3,51	2,66	2,69

Б_ф – Резервуар вертикальный стальной;

Б_{к1} – Резервуар вертикальный стальной с понтоном;

Б_б – Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей.

По таблице 9 видно, что наиболее эффективно использовать резервуар вертикальный стальной, так же он является наиболее конкурентоспособным к другому виду, так как обладает рядом преимуществ, например, удобство в эксплуатации, а также минимальное количество подвижных частей, что обеспечивает долговечность работы резервуара.

$$K1 = \frac{43}{33} = 1,3 \quad (17)$$

10.3 SWOT – анализ

SWOT – анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа:

1. Сильные стороны проекта:

- Высокая экономичность технологии.
- Экономичность технологии.
- Повышение безопасности производства.
- Уменьшение затрат на ремонт оборудования.

2. Слабые стороны проекта:

- Трудность внедрения функции.
- Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.

3. Возможности:

- Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.
- Сокращение расходов.
- Качественное обслуживание потребителей.
- Сокращение времени простоев.

4. Угрозы проекта:

- Отсутствие спроса на новые производства;
- Снижение бюджета на разработку;
- Высокая конкуренция в данной отрасли.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 10, таблице 11, таблице 12, таблице 13.

Таблица 10 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	0
	B2	-	-	+	-
	B3	-	0	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C1C2, B2C3.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	0
	B2	-	0	-
	B3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B1Сл1.

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	0
	У2	-	-	-	-
	У3	+	+	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1У3С1С2.

Таблица 13 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	0
	У2	-	0	-
	У3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 14).

Таблица 14 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая экономичность технологии.</p> <p>С2. Экономичность технологии.</p> <p>С3. Повышение безопасности производства.</p> <p>С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Трудность внедрения функции.</p> <p>Сл2. Отсутствие на предприятии собственного специалиста, способного произвести внедрение функции.</p>
--	--	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение эффективности работы предприятия за счет модернизации.</p> <p>В2. Сокращение расходов.</p> <p>В3. Качественное обслуживание потребителей.</p> <p>В4. Сокращение времени простоев.</p>	<p>– Достижение повышения производительности агрегатов.</p> <p>– Исключение поломок оборудования в результате сбоев в электроснабжении.</p> <p>– Своевременная поставка нефти и природного газа потребителям.</p>	<p>1. Поиск заинтересованных лиц 2. Разработка научного исследования 3. Принятие на работу квалифицированного специалиста. 4. Переподготовка имеющих специалистов</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1: Отсутствие спроса на новые технологии производства;</p> <p>У2: Снижение бюджета на разработку;</p> <p>У3: Высокая конкуренция в данной отрасли.</p>	<p>1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>2. Доработка проекта</p> <p>3. Сложность реализации проекта.</p>	<p>1. Приобретение необходимого оборудования опытного испытания 2. Остановка проекта. 3. Проведения других проектов</p>

10.4 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность

исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы исследований	1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
	2	Выбор алгоритма исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Исполнитель
Разработка тех. задания	4	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель
	6	Проектирование модели и проведение экспериментов	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель
Оформление отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{2t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (18)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (19)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{\text{кал}}, \quad (20)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$K_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (21)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 66$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 15$ – количество праздничных дней в году.

$$K_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66 - 15} = 1,28$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{\min} ,	t_{\max} ,	$t_{\text{ож}}$,			

	Чел- дни	Чел- дни	Чел- дни			
Календарное планирование работ по теме	3	6	4,2	Руководитель, Исполнитель	2	3
Составление и утверждение тех. задания	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	16
Согласование материалов по теме	5	8	6,2	Руководитель	6	8
Проведение теоретических расчетов и обоснование	6	18	10	Исполнитель	10	13
Проектирование 3D модели резервуара	3	12	6,6	Исполнитель	7	9
Оценка результатов исследования	3	5	3,8	Руководитель, Исполнитель	2	3

Составление пояснительной записки	7	16	11,4	Руководитель, Исполнитель	6	8
---	---	----	------	------------------------------	---	---

На основе таблицы 16 строим план график, представленный в таблице 17.

Таблица 17 - Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Испол- нители	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ											
				Фев.		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	3												
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	18												
3	Согласование материалов по теме	Р	9												
4	Календарное планирование работ по теме	Р, И	3												
5	Проведение теоретических расчетов														

Р - руководитель И - исполнитель

Бюджет научно-технического исследования

Материальные затраты включают затраты на изготовление опытного образца. Все необходимое спецоборудование и затраты на его приобретение представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Смета затрат на реализацию проекта

Оборудование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Стоимость комплекта, руб.
Резервуар вертикальный стальной (при исполнении 1)	1	850000,00	850000,00
Резервуар вертикальный стальной с понтоном (при исполнении 2)	1	1250000,00	1250000,00
Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (при исполнении 3)	1	1200000,00	1200000,00
Люк лаз ЛЛ-600 (или люк лаз овальный ЛЛ 600х900) в первом поясе стенки	1	16301,60	16301,60
Люк световой ЛС-500	1	83751,36	83751,36
Клапан дыхательный с огнепреградителем КДС- 1500/250	2	15778,16	31556,32
Огнепреградитель ОП-500 ААН	1	80012,46	80012,46
Патрубки вентиляционные ПВ-500	1	80984,57	80984,57
Патрубок приемно- раздаточный ППР-400	1	18470,17	18470,17
Патрубок монтажный ПМ- 500	1	46287,58	46287,58

Генератор пены ГПСС-2000	2	10917,59	21835,18
Кран сифонный КС-80	1	58625,95	58625,95
Пробоотборник секционный ПСР	1	40081,01	40081,01
Механизм управления хлопушкой МУ-2	1	160270,99	160270,99
Патрубок монтажный ПМ- 150	3	882,56	2647,68
Хлопушка ХП-400	1	81283,69	81283,69
Итого:			При исполнении 1: 2872108,56
			При исполнении 2: 3272108,56
			При исполнении 3: 3222108,56

Для проведения научного исследования нам необходим компьютер, с установленными на него специальными программами и с нужным нам программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера:

$$З = d_{\kappa} + d_{no} = 25000 + 3000 = 28000, \quad (22)$$

где d_{κ} – стоимость компьютера;

d_{no} – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоем- кость, чел.- дн.			Заработ- ная плата, прихо- дящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Исполнитель	2	3	2	1,16	2,32	3,48	2,32
2	Выбор темы исследований	Руководитель	7	9	8	0,93	6,51	8,37	7,44
3	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель	2	2	2	0,93	1,86	1,86	1,86
4	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	12	12	12	0,23	2,76	2,76	2,76
5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель	8	9	9	0,23	1,84	2,07	2,07
6	Проектирование 3D модели резервуара	Исполнитель	6	9	8	0,23	1,38	2,07	1,84

7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель	4	5	6	1,16	4,64	5,8	6,96
8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель	5	5	5	1,16	5,8	5,8	5,8
Итого:							27,1 1	32,21	31,05

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_n = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (23)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (24)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51413 \cdot 10,1}{185} = 2661 \text{ руб.}, \quad (25)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, раб. дн.

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	62	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	185	175

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p = 23264 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 51413, \quad (26)$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{mc});

k_o – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от Z_{mc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата Z_{mc} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_m и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не

относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы для исполнения 1

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	20	53,48
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	37	41,66
Итого:								95,14

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	24	64,18
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	43	48,41
Итого:								112,59

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	кпр	кд	кр	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,674	28	74,87
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	1,126	49	55,17
Итого:								130,04

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 53480 = 6952 \text{ руб;} \\ Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 41660 = 5416 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (27)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$\begin{aligned} Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 64180 = 8343 \text{ руб;} \\ Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 48410 = 6293 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Для исполнения 3 расчет дополнительной заработной платы составит:

$$\begin{aligned} Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 74870 = 9733 \text{ руб;} \\ Z_{доп} &= k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 55170 = 7172 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (53480 + 6952) = 16377 \text{ руб,} \quad (28)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен

размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 24 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб			Дополнительная заработная плата, тыс. руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	53,480	64,180	74,870	6,952	8,343	9,733
Исполнитель проекта	41,660	48,410	55,170	5,416	6,293	7,172
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого:						
Исполнение 1	Исполнение 2			Исполнение 3		
29,134	34,478			39,822		

Прочие расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, пишущие принадлежности, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб. (исполнение 1)	Сумма, руб. (исполнение 2)	Сумма, руб. (исполнение 3)	Примечание
1. Материальные затраты	2872108	3272108	3222108	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	95140	112590	130040	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12368	14636	16905	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	29134	34478	39822	
5. Затраты на покупку компьютера	28000	28000	28000	
6. Прочие расходы	24000	24000	24000	
7. Бюджет затрат НТИ	3060750	3485812	3460875	Сумма ст. 1-6

10.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (29)$$

где $I_{финр}^{испi}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{3060750}{3485812} = 0,878.$$

Для 2-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{3485812}{3485812} = 1.$$

Для 3-ого варианта имеем:

$$I_{финр}^{исп3} = \frac{3460875}{3485812} = 0,993.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в

размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (30)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Резервуар вертикальный стальной (исп. 1)	Резервуар вертикальный стальной с понтоном (исп. 2)	Резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (исп. 3)
1. Безопасность	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	4
3. Срок службы	0,15	5	3	3
4. Ремонтопригодность	0,20	5	3	5
5. Надёжность	0,25	4	4	4
6. Материалоёмкость	0,15	5	4	3
Итого:	1	4,6	3,05	3,9

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p - \text{исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,6 \quad (31)$$

$$I_p - \text{исп2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,05$$

$$I_p - \text{исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{исп.1}^{финр}}; \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{исп.2}^{финр}}; \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{исп.3}^{финр}};$$

$$I_{исп1} = 5,24; \quad I_{исп2} = 3,05; \quad I_{исп3} = 3,93.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{срi}$):

$$\mathcal{E}_{срi} = \frac{I_{испi}}{I_{исп\min}}, \quad (33)$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = 1,72; \quad \mathcal{E}_{ср2} = 1; \quad \mathcal{E}_{ср3} = 1,29.$$

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,878	1	0,993
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,05	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,24	3,05	3,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,72	1	1,29

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, резервуар вертикальный стальной остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ, основная часть которого приходится на материальные затраты, связанные с приобретением спецоборудования. Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данная конструкция резервуара экономически выгодна.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены конструктивные особенности и технические параметры резервуара вертикального стального (РВС) 10000м³. Для рассматриваемого резервуара был проведен аналитический расчет номинальных значений толщин стенок, крыши и днища. По результатам 3Д сканирования поверхностей РВС была построена объемная геометрическая модель в точности повторяющая геометрию РВС. Разработанная геометрическая модель послужила основой для создания расчетной модели в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS. В результате проведенных расчетов были определены поля напряжений, деформаций и перемещений, характерные материалу конструкции. Полученные значения сравнивались с допустимыми согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Методы расчета на прочность», ГОСТ Р 52857.11-2007 «Нормы проектирования Стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000-50000 м³ РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04» Из проведенного сравнения выяснилось, что максимальные расчетные напряжения не превышают величину допустимых значений.

Список литературы

1. Арзунян А.С. Резервуары с безмоментной кровлей для хранения нефти и нефтепродуктов / Арзунян А.С. – М.: ЦНИИТЭнефть, 1956. – с. 72.
2. Ашкинази М.И. К расчету местных напряжений в стальных резервуарах / Ашкинази М.И., Ланда М.Ш. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1975. – №4. – С. 21-23.
3. Ашкинази М.И. К расчету вертикальных цилиндрических резервуаров большой емкости / Ашкинази М.И., Егоров Е.А. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1976. – №4. – С. 17-18.
4. Березин В.Л. Устойчивость верхних поясов вертикальных цилиндрических резервуаров / Березин В.Л., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. // Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и баз: Труды НТС Уфимского нефтяного института. – 1969, вып. 3 – С. 316-325.
5. Березин В.Л. Устойчивость верхних поясов стальных вертикальных цилиндрических резервуаров / Березин В.Л., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. // Нефть и газ. – 1969. – №4. – С. 81-85.
6. Березин В.Л. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах / Березин В.Л., Мацкин А.А., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 67 с.
7. Березин В.Л. Прочность и устойчивость резервуаров и трубопроводов / Березин В.Л., Шутов В.Е. – М.: Недра, 1973. – 223 с.
8. Бородавкин П.П. Характер осадки резервуаров и ее влияние на эксплуатационную надежность при хранении нефтепродуктов / Бородавкин П.П., Маслов Л.С., Шадрин О.Б. // РНТС ВНИИОНГ. – 1965. – №6. – С. 26-29.
9. Буренин В.А. Исследование влияния неравномерных осадок на напряженно-деформированное состояние стального вертикального цилиндрического резервуара: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Буренин Владимир Алексеевич – Уфа, 1981. – 157 с.

- 10.Сафарян М.К. Основные положения расчета цилиндрических и сферических оболочек на устойчивость (применительно к резервуаростроению) / Сафарян М.К. // «Монтажные работы в строительстве». – 1967. – М., вып. 2. – С. 20-33.
- 11.Сафарян М.К. Расчет стальных вертикальных цилиндрических резервуаров большой емкости на действие ветровой нагрузки / Сафарян М.К., Шутов В.Е. // Экспресс-информация ВНИИГазпрома. –1968. – №1. – С. 15-22.
- 12.Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры / Сафарян М.К. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
- 13.Лебедев В.Д. Напряженно-деформированное состояние вертикальных резервуаров с учетом консолидации грунтов основания: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Лебедев Владимир Дмитриевич. – Тюмень, 2006. – 125 с.
- 14.Лебедев В.Д. Напряженно-деформированное состояние конструктивных частей резервуара при нестабилизированном состоянии его грунтового основания / Лебедев В.Д. // Проблемы эксплуатации систем транспорта: материалы региональной научно-практической конференции. – 2006. – Тюмень: ТюмГНГУ. – С. 162-164.
- 15.Хоперский Г.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Хоперский Геннадий Григорьевич. – Тюмень, 1998. – 197 с.
- 16.Галеев В.Б. Экспериментальное исследование механических свойств материала днища вертикальных цилиндрических резервуаров после длительной эксплуатации / Галеев В.Б., Гафаров Р.Х., Любушкин В.В., Юсупов Ф.Ш. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. РНТС ВНИИОЭНГ. – 1977. – №5. – С. 40-45.
- 17.Галеев В.Б. Напряженно-деформированное состояние резервуаров, построенных на слабых переувлажненных грунтах: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.13 / Галеев Виль Бареевич. – Тюмень, 1987. – 668 с.

18. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках оснований: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Слепнев Игорь Владимирович. – Москва, 1988. – 225 с.
19. Тарасенко А.А. Использование программных комплексов при оценке технического состояния и проектировании ремонтов вертикальных стальных резервуаров / Тарасенко А.А., Семин Е.Е., Тарасенко Т.В. // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. – 2006. – №4. – С. 85-87.
20. Тарасенко А.А. Исследование изменения напряженнодеформированного состояния вертикального стального резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища / Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – С. 3409-3413.
21. Тарасенко А.А. Модель резервуара в среде ANSYS Workbench 14.5 / Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-15. – С. 3404-3408.
22. Тарасенко А.А. Деформирование верхнего края оболочки при развитии неравномерных осадок резервуара / Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-3. – С. 485-489.
23. Чепур П.В. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре / Чепур П.В., Тарасенко А.А. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (7). – С. 1560-1564.
24. Головачев А.А. Расчет напряженно-деформированного состояния стенки нефтеналивного резервуара с дефектом формы в виде вмятины / Головачев А.А., Марков П.В., Сметанников О.Ю. // Прикладная математика и механика: сб. науч. тр. – 2007 – № 8(10).
25. Головачев А.А. Исследования концентрации напряжений в тонкостенных конструкциях со сверхнормативными дефектами формы и материала и создание технологии оценки условий их эксплуатации / Головачев А.А., Сметанников О.Ю. // Вестник ПГТУ. Механика. – 2009. – №1. – С. 93-102.

26. Евдокимов В.В. Дифференцированный подход к определению допустимых размеров вмятин на поверхности стенки вертикальных цилиндрических резервуаров / Евдокимов В.В., Труфанов Н.А., Сметанников О.Ю. // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №6. – С. 15-16.
27. Катанов А.А. Расчет напряжений и перемещений в уторном узле и окрайке днища резервуара / Востров В.К., Катанов А.А. // Монтажные и специальные работы. – 2005. – №8. – С. 22-26.
28. Сафарян М.К. Проектирование и сооружение стальных резервуаров / Сафарян М.К., Иванцов О.М. – М.: Гостопттехиздат, 1961. – 328 с.
29. Стулов Т.Т. Расчет наземных резервуаров с учетом устойчивости основания / Стулов Т.Т. // Труды МИНХ и ГП. – 1997. – №5. – С. 95-105.
30. Ямамото С. Напряжения и деформации, образующиеся в резервуарах вследствие неравномерного оседания основания / Ямамото С., Ковано К. // ВДП. №А-49231, с. 18 «Нихон Кикай Гакайси». – 1977. – т. 80, №703. – С. 534-539.
31. Reinhard Gottwald. Field Procedures for Testing Terrestrial Laser Scanners (TLS). A Contribution to a Future ISO Standard / Reinhard Gottwald // FIG Working Week 2008. Integration Generations and FIG/UN-HABITAT Seminar (Stockholm). – 2008. – P. 1-14.
32. Reshetyuk Y. Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodetic engineering / Y. Reshetyuk // 3rd IAG – 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24. – 2006. – 10 p.
33. Галеев В.Б. Эксплуатация стальных вертикальных резервуаров в сложных условиях / Галеев В.Б. – М.: Недра, 1981. – 149 с.
34. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1991. – 253 с.

- 35.Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1999. – 299 с.
- 36.Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках оснований: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Слепнев Игорь Владимирович. – Москва, 1988. – 225 с.
- 37.Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние резервуара при развитии неравномерных осадок его основания: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Чепур Петр Владимирович. – Москва, 2015. – 181 с
- 38.Галеев В.Б. Эксплуатация стальных вертикальных резервуаров в сложных условиях / Галеев В.Б. – М.: Недра, 1981. – 149 с.
- 39.Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1999. – 299 с.
- 40.ПБ 08-624-03 "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности"
- 41.ППБ 01-03 "Правила пожарной безопасности в Российской Федерации"
- 42.Константинов Н.Н. Борьба с потерями от испарения нефти и нефтепродуктов. М., Гостоптехиздат, 1961.
- 43.Пектемиров Г.А. Справочник инженера нефтебаз / Г.А.Пектемиров. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. – 325с.
- 44.РД 153 – 39.4 – 078 – 01. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз.
- 45.16.Трубопроводный транспорт нефти: учебник для вузов: в 2 т. / С.М.Вайншток [и др.]; под общ. ред. С.М. Вайнштока. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2004. – Т. 2. – 621 с.

- 46.Хранение нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / под общ. ред.Ю.Д. Земенкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Тюмень: Издательство «Век-тор Бук», 2003. – 536 с.
- 47.Земенков Ю.Д. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах: - СПб.: Недра, 2004, 544 с.
- 48.СНиП 2.11.03-93 Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. – Москва, 1993
- 49.ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.http://docs.cntd.ru/document/>
- 50.ГОСТ 12.1.012-2004.Вибрационная безопасность; [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.http://docs.cntd.ru/document/>
- 51.Андреев А.Ф. и др. Организация и Управление предприятиями нефтяной и газовой промышленности: Учебное пособие / Под ред. Е.С. Сыромятникова. – М.: Нефть и газ, 1997 – Ч. 1. – 144 с., М.: Нефть и газ, 1999 – Ч. 2. – 139 с.

Раздел
Приложение 1

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Бычков Антон Андреевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев К.К.	к.ф. - м.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бекишева Т.Г.			

THE TECHNIQUE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING OF TANKS

The technology of terrestrial laser scanning

The purpose of measuring the actual geometric parameters of the tanks is to analyze the condition and position prior to operation, taking into account all regulatory tolerances. Based on this control, in due time, engineering and technical actions for the prevention and elimination of deformations dangerous for designs are developed and carried out.

The methodology of the work on terrestrial laser scanning of the reservoirs to determine their actual spatial location and the real geometrical form allows to perform the necessary complex of works with the least expenditure of time and effort. Moreover, it helps to obtain information about the deviations that form the sides of the tank from the vertical and elevations and the bottoms. The technique involves the construction of a three-dimensional mathematical model of the tank wall to assess its stress-strain state, taking into account the actual spatial position and the real geometric shape.

The method of work on ground laser scanning of tanks includes three stages:

1) preliminary preparation:

- development of a preliminary scheme for the arrangement of scanning stations and a preliminary scheme for the placement of special grades;
- selection of a set of equipment for ground laser scanning, that is necessary for the work;

- select the scan resolution;

2) field work:

- adjustment of placement of scanner stations and placement of special marks, taking into account the real situation on the object;

- direct shooting of the tank;

3) Desk processing of the received data:

- registration of scans in a single cloud of points forming the surface of the tank;
- determination of deviations from the vertical forming tank;
- determination of the elevations of the inner tank bottom;

- construction of a three-dimensional mathematical model of the tank wall, suitable for assessing its stress-strain state adapted for the results of ground laser scanning.

Three-dimensional scanning is a systematic process of determining the coordinates of points belonging to the surfaces of physical objects in order to obtain their spatial mathematical models.

The most modern non-contact three-dimensional scanner is a ground-based laser scanner. The essence of ground-based laser scanning is to measure the distance from the scanner to the points of the object at a high speed and to register the corresponding directions (vertical and horizontal angles). Therefore, in ground laser scanning the measured values are similar to the values measured when working with electronic total stations. Thus, at its core, the radar is the next stage of the development of electronic total stations, different from them by the principle of total shooting of the entire surface of the object under investigation.

In ground-based laser scanners, two main methods for determining the distance using a laser beam are implemented: pulse and phase.

When measuring the distance by pulse method, the time of propagation of short pulses regularly following with relatively long pauses, from the receiving and transmitting device to the object and back, is measured directly. As a result, knowing the propagation velocity of the electromagnetic wave v , m/s, it is possible to determine the distance:

$$R = \frac{v * \tau}{2}$$

where τ - is the time measured from the moment the pulse is supplied by the laser device to the moment the pulse reflected from the object is received, s.

The phase method is based on the fact that the phase of the harmonic oscillation is a linear function of time, and, consequently, the change of the phase for a certain period of time will be a linear function of the distance traveled during this time by the harmonic oscillation. Then the distance can be determined by the formula:

$$R = \frac{\varphi_{2D} * v}{4\pi * f}$$

where φ_{2D} is the phase difference between the sent and received signal, rad;

f – frequency, Hz

Thus, the principle of operation of the ground-based laser scanner is as follows: the beam emitted by the laser rangefinder of class 1 is directed by the scanner at the object, then reflects from it and returns to the scanning system, getting to the receiver, where the return time (phase) of the reflected signal is fixed. In this case, the direction of the laser beam propagation and the distance to the object points are fixed (figure 1). As a scanner in the radar are servo and polygonal mirror or prism. The deflection of the laser beam in the horizontal plane is due to the rotation of the upper part of the scanner, and in the vertical plane it is due to the rotation or swing of the mirror

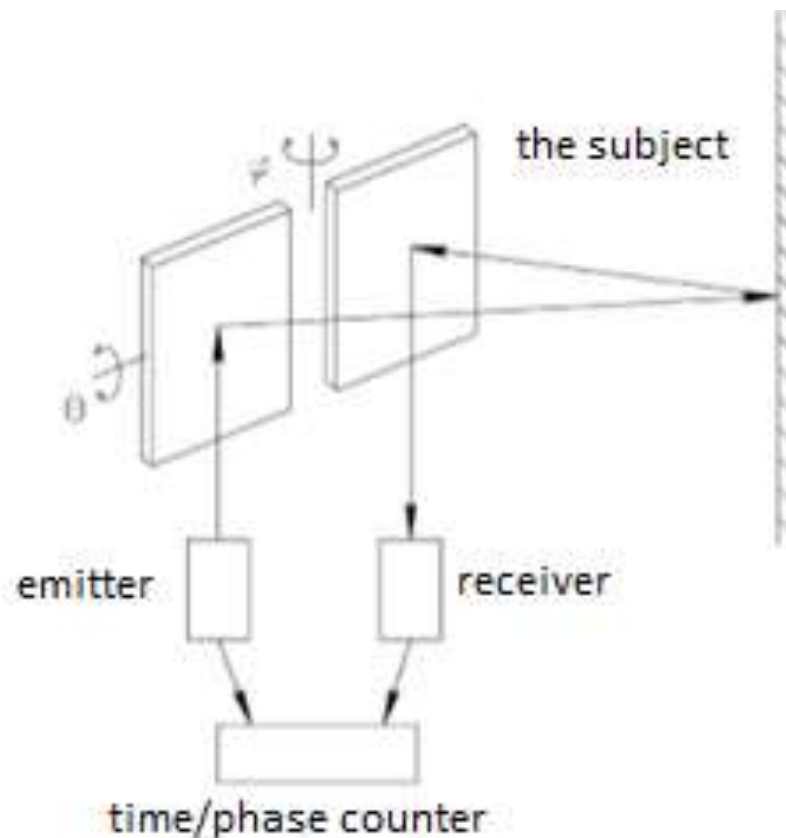


Figure 1 – Schematic diagram of the ground-based laser scanner

The result of the ground-based laser scanner is a file containing data on the distance from the laser scanner to the surface points of the object, vertical and horizontal angles characterizing the direction of propagation of the laser beam, the intensity of the reflected signals and the real color (the set of recorded data may vary depending on the specific laser scanner). The obtained data can be represented as a scan (two-dimensional display) or a point cloud (three-dimensional display).

A scan is a raster image whose pixel values contain information about the measured distance, the intensity of the reflected signal, and the RGB component that characterizes the actual color of the point. Depending on the scanner model, the set of stored information may vary. The row and column of each pixel of the resulting raster contains information about the values of the measured vertical and horizontal angles (figure 2).



Figure 2 – Raster representation of ground laser scanner results (scan)

A three-dimensional form of representation of the radar results is a cloud of laser reflection points from objects with five characteristics: spatial coordinates (X, Y, Z), intensity and real color (figure 2). However, since the laser scanner takes measurements in the polar coordinate system, the formula is used to convert the data to the Cartesian coordinate system (figure 3):

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi \sin \theta \\ Y = R \sin \varphi \cos \theta \\ Z = R \cos \theta \end{cases} \quad (1)$$

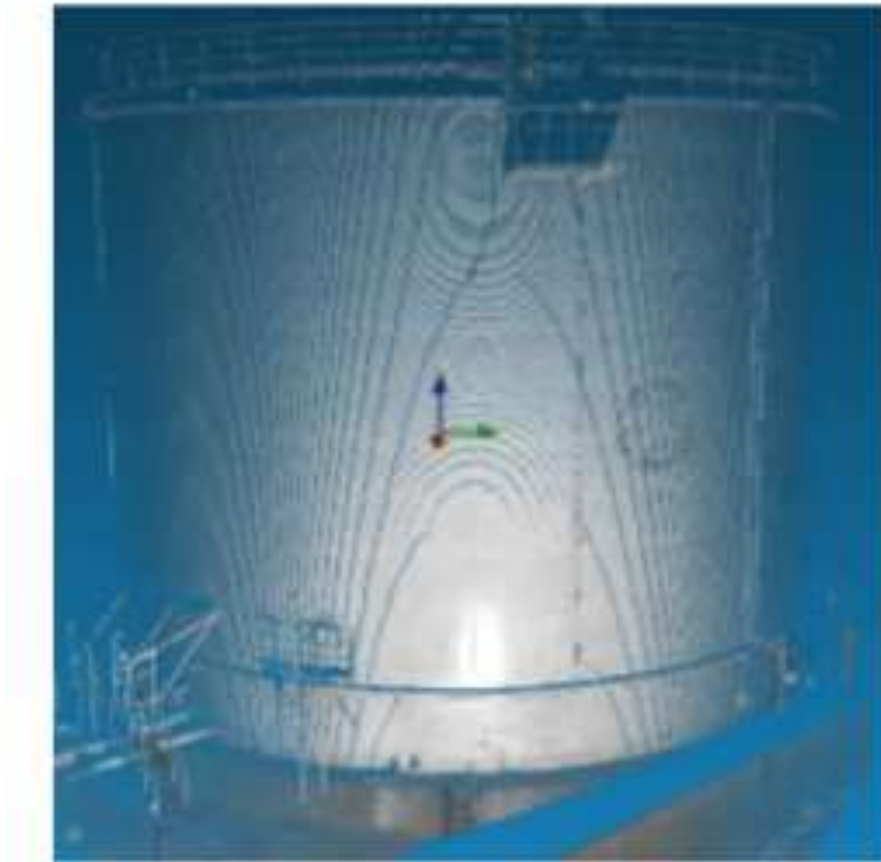


Figure 3 – three-Dimensional representation of ground-based laser scanning results
(point cloud)

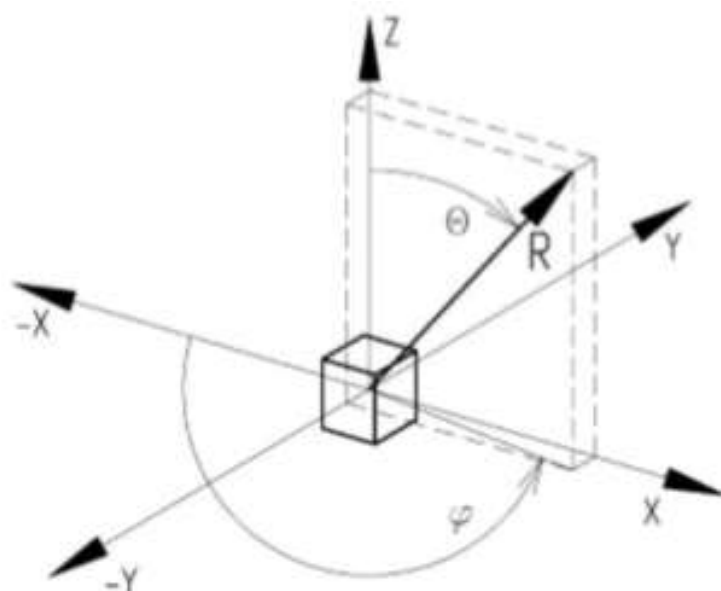


Figure 4 – ground laser scanning coordinate System

where X, Y, Z are the spatial coordinates of the object points, m;

R is the measured distance from the standing point of the scanner to the object, m;

φ - horizontal angle of the measured direction of the laser beam R , degree;

θ - vertical angle of the beam direction R , degree.

For a particular laser scanner, formula (1) has an individual appearance, which takes into account the mismatch of the radiation source and receiver, the eccentricity of the vertical and horizontal axes of rotation of the device and other parameters of the scanner calibration.

The results of ground-based laser scanning, presented in the form of a point cloud, can then be used to obtain a shell or solid-state three-dimensional mathematical model of the object, a flat drawing, a set of sections, a surface, etc.

Preliminary preparation

Based on the data on the type and size of the tank, its design features, as well as the plan and layout of the tank in the protective fence, it is necessary to develop a preliminary layout of scanner stations and a preliminary layout of special brands.

The layout of the scanner stations should provide the most complete survey of the tank surface with a minimum number of scanner stations, taking into account the presence in the area of communications, pipelines and other technological equipment that prevents the line of sight of the object being removed.

The size limits of laser scanning sectors from different scanner stations should be set based on the following requirements:

- the angle of incidence of the laser beam on the surface of the tank should not exceed $45-50^\circ$ (this requirement must be met in both horizontal and vertical directions);
- the scan received from one scanner station must have zones of intersection with the scans received from adjacent scanner stations of the sizes not less than 1 meter.

The earthen dikes of reservoirs for scanning the sides of the tank should use at least 8 scanning stations located in the embankment (4 stations located in corner points, the 4 stations in the middle of the sides of the embankment). The number of scan points can be reduced to 6 when scanning tanks with a volume of less than 10,000 m³ with a landslide. If the tank is located in a concrete box, it is not possible to perform the survey from the earth embankment or it is impossible to fulfill the above requirements, so the scanner stations are located in other convenient ways (in other places), taking into account the requirements given earlier.

The layout of the marks is determined based on the layout of the scanner stations and the following conditions

- the angle of incidence of the laser beam on the mark should not exceed $45-50^\circ$ (figure 5);

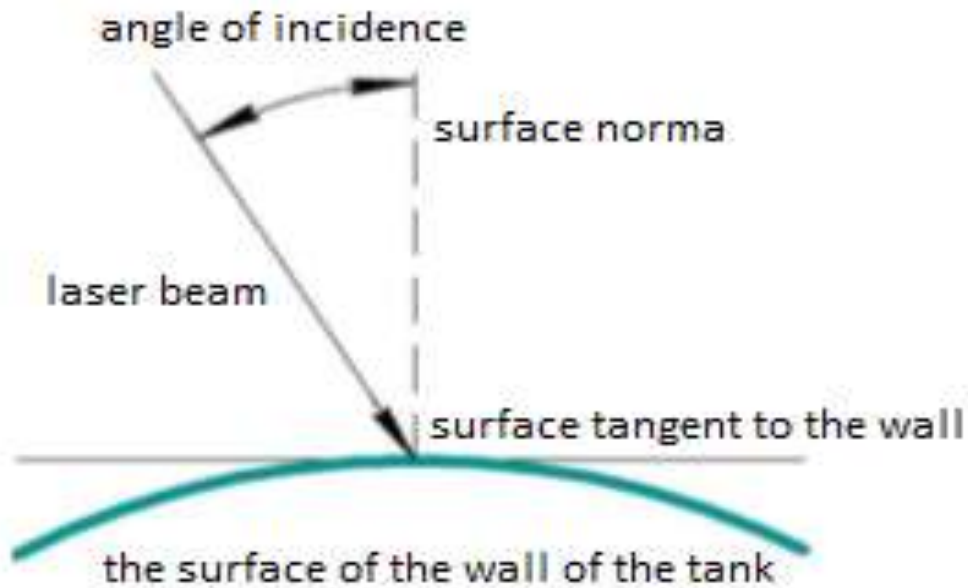


Figure 5 – Angle of incidence of the laser beam on the surface

- any scan must be associated with any adjacent at least four common special marks in the places of their overlay (three marks are located on the wall of the tank and one mark on the roof of the tank);
- special marks located on the tank wall should not be placed at the same height or in a straight line, the optimal placement of marks is an equilateral triangle with a minimum side of 1 meter (figure 6).

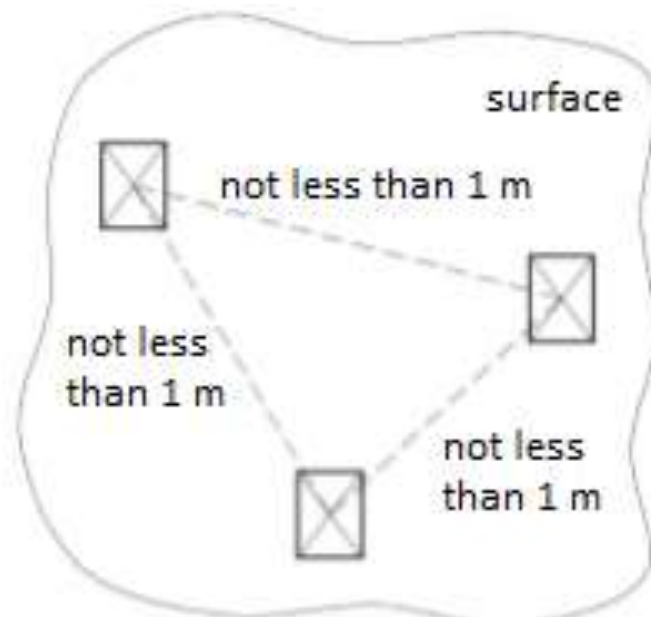


Figure 6 – Scheme of distribution of flat marks on the surface of the wall

As a result, the scheme of pre-placement of scanner stations and special brands is performed in the following sequence:

- based on the information provided about the type and size characteristics of the tank, the design features of its execution, as well as plans and schemes of the location of the tank and the environment in the collapse, a large-scale model of the tank in the CAD system is built;
- based on the scale model in accordance with the requirements above, the locations of scanner stations are indicated;
- based on the scale model in accordance with the requirements listed above, the points of placement of special brands are indicated;
- distances from special marks to scanner stations are calculated;
- angles of incidence of the laser beam on each special brand are calculated.

If special marks are used for further registration of scans into a single point cloud, the required scanning resolution is selected based on the condition of sufficient detail and accuracy of recognition of the center of the special mark.

- according to table 1 and the known values of the angle of the incidence and the distance for the selected brand, the optimal resolution is determined;
- this resolution is used when scanning the entire surface of the object.

Table 1 – resolution Values based on distance and angle

Resolution, m per 10 m	The angle of incidence of the beam on the mark 0°	Angle of incidence of the beam on the mark 30	The angle of incidence of the beam on the mark 45°
12,6	до 12 m	до 10 m	до 8 m
6,3	До 25 m	До 22 m	До 20 m
3,1	До 50 m	До 45 m	До 35 m
1,6	До 100 m	До 90 m	До 70 m
0,6	До 120 m	До 110 m	До 90 m

If no special marks are used during scanning, the resolution parameters are selected according to the required level of detail.

At the stage of preliminary preparation, it is necessary to choose the equipment for ground laser scanning. The choice of a specific device is carried out depending on its technical characteristics on the basis of the required range of action during the work and the necessary parameters of the scan resolution. Based on the analysis of the technical characteristics of various instruments and the conditions and requirements of the works with technical diagnostics of vertical steel tanks it is possible to identify a number of requirements (tables 2 and 3), which must satisfy all of the terrestrial laser scanners used to determine the actual spatial position and the actual geometric shape of the tanks.

Table 2 – Technical parameters of the ground-based laser scanner

Technical indicator	Value
1. Measurement method	Phase
2. Operating range, m	0.3 to 150
3. The scanning speed, points / sec	1.000.000
4. Resolution	2.2 mm per 50 m
5. Linear deviation	≤ 1 mm per 180 m
6. Vertical field of view, °	180
7. Horizontal field of view, °	180
8. Operating temperatures, °C	from minus 10 to 45
9. Dust and moisture protection	IP53

Conducting field work

To date, ground-based laser scanners are not available in explosion-proof design, so before the work tank must be emptied and cleaned of the product.

Prior to the beginning of the direct work on the ground laser scanning of the tank at the facility, it is necessary to determine the need to adjust the preliminary layout of the scanner stations and/or the preliminary layout of special brands. This should:

- determine the position of scanner stations and special brands, taking into account the presence in the area of communications, pipelines and equipment (not marked on the provided schemes and plans), which are not subject to scanning and can close the scanning sector;

Table 3 – Allowable standard deviation of the distance measurement of terrestrial laser scanning

Distance to object, m	Reflectivity not more than, %	SKO no more,mm
10	20	1,0
	50	0,5
	80	0,5
25	20	2,0
	50	1,0
	80	1,0
50	20	3,0
	50	2,0
	80	2,0
100	20	10,0
	50	5,0
	80	5,0

Note – Manufacturers of ground-based laser scanners indicate the accuracy of their scanning systems at different distances and with different surface reflectivity of the scanned object. For the correct choice of the scanning system it is necessary to use this table of limits of SKO of measurement of distances.

- check the possibility of installing scanner stations in selected locations;

- with each of your scan station to check line of sight a special brand of terrestrial laser scanner.

In the case of fulfillment of all necessary requirements to move on the location of the installation site scanning stations and to apply a special mark on the tank. Otherwise, you need to adjust the location of the scanner stations and special brands.

When transferring the locations of scanner stations and special marks more than 2 meters from the initial position, it is necessary to check compliance with the requirements for the preliminary layout of scanner stations and special marks specified at the stage of "Preliminary preparation". After fulfilling these requirements, you can transfer the scheme to the area.

The tank is scanned in the following sequence:

- 1) Install the scanner on the first scanner station, ensuring its static position during the whole process of shooting (the first scanner station is considered to be the scanner station, which contains the first forming the walls of the tank);
- 2) Move the scanner to a horizontal position. If necessary, to carry out its high-altitude binding to the existing geodetic network;
- 3) Create a new project in the radar menu;
- 4) To reduce the time of scanning and subsequent in-house data processing, adjust the boundary horizontal and vertical scanning angles
- 5) Make a direct scan of the reservoir section;
- 6) If there is a hardware capability, after the scanning process is completed, it is necessary to monitor the received point cloud. If a defective scan is found (incorrectly specified boundary angles, there was a displacement of the object, the scanner, or special marks in the scanning, etc.), you need to re-scan with the scanning station;
- 7) Move the scanner to the next scanner station and repeat steps 1, 2, 4-6. Scanning of the tank wall should be carried out in a clockwise circular motion along the perimeter of the tank;
- 8) After scanning from all scanner stations, remove all special marks from the tank.

Additional requirement

1) Additional requirements for field work:

- methods of fixing special marks on the tank must prevent their displacement during the whole process of shooting. The scanner must also be in a static position when shooting from the scanner station;
- do not walk on the roof of the tank when shooting from the tank, to reduce the impact of vibrations on the scan results. If there is a hardware and technical capability to scan, in this case it is better to perform with the remote control of the radar;
- ground-based laser scanning should be carried out at an ambient temperature that meets the operating temperature range of the applied radar.

2) Additional requirements for the subject:

- ground-based laser scanning is recommended for objects with a surface color that provides high reflectivity. When shooting the following types of surfaces, significant errors can occur when measuring the distance with a laser scanner:
 - surfaces with a reflectivity greater than 90% (polished and anodized metal surfaces, mirror surfaces, etc.);
 - surfaces with high absorption capacity (black);
- when carrying out laser scanning in the winter season, it is necessary to clean all the elements of the tank to be shot from snow (bottom painting, process pipelines, roof elements, etc.);
- the surface of the tank must be dry during the survey. The presence of a water film on the surface of the tank leads to a significant amount of noise and incorrect rangefinder measurements that do not allow for further adequate in-house data processing

3) Requirements for meteorological conditions of work:

- do not scan the tank in case of rain, thunder, hail and fog;
- it is possible to shoot in snow conditions;
- to avoid increasing noise, do not scan the object against the sun or in bright light conditions;

- when working on a sunny day, limit the exposure of the scanner to sunlight to prevent uneven heating and horizontal displacement of the device;
- if hardware is available, the main climatic parameters (pressure, temperature, humidity) should be taken into account when scanning.